



İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**POLİMERİK KATI YALITKANLARDA YÜZEY
AŞINIMININ MEKANİK ETKENLER
KARŞISINDAKİ DEĞİŞİMİ**

Ahmet MEREV

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman
Doç.Dr. Ayten KUNTMAN

1999

İSTANBUL

ÖNSÖZ

Bu tezin hazırlanmasında bana yardımlarını esirgemeyen hocalarım Sayın *Doç.Dr. Ayten KUNTMAN* ve Sayın *Yard.Doç.Dr. Mukden UĞUR*'a ; test düzeneğinin oluşturulmasında bizleri destekleyen Bölüm Başkanımız Sayın *Prof.Dr. Osman TONYALI*ya, Sayın *Prof.Dr. Gökhan Uzgören*'e; manen desteğini yanımdan hiç eksik etmeyen sevgili eşim *Birsen MEREV*'e ve test örneklerinin yapımında kullanılan polyester malzemesini karşılayan *Boytek A.Ş.* yetkililerine teşekkür ederim.

Haziran-1999

Ahmet MEREV

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	I
İÇİNDEKİLER.....	II
ŞEKİL LİSTESİ	V
TABLO LİSTESİ	VII
ÖZET	VIII
ABSTRACT	IX
I. GİRİŞ	1
II. YÜKSEK GERİLİMDEKİ İZOLASYON MALZEMELERİ.....	2
2.1 İnorganik Katı İzolasyon Malzemeleri.....	2
2.1.1 Alüminyum Oksit	2
2.1.2 Porselen	2
2.1.3 Magnezyum Oksit	3
2.1.4 Cam	3
2.1.5 Mika	3
2.1.6 Metal-Oksit-Silisyum.....	4
2.2 Organik Katı İzolasyon Malzemeleri.....	4
2.2.1 Polietilen (PE)	4
2.2.2 Polivinilklorür (PVC).....	4
2.2.3 Politetrafloroetilen-Teflon (PTFE)	4
2.2.4 Epoksi Reçine	5
2.2.5 Polyester	6
III.KATI YALITKANLARDA BOZULMA.....	7
3.1 Yaşlanma	7

3.2 Kısmi Deşarj.....	7
3.3 Kanal Oluşumu	8
3.4 Termik Delinme	8
3.5 Elektromekaniksel Delinme	9
3.6 Erozyon	9
3.7 Yüzey Aşınımı (Surface Tracking)	9
IV. YÜZEY AŞINIM (SURFACE TRACKING) TEST METOTLARI	12
4.1 Eğik Düzlem Testi (Inclined Plane Test)	13
4.1.1 Test Örneğinin Yapılışı	13
4.1.2 Deney Düzeneklerinin Kurulması	15
4.2 CTİTesti	20
4.3 Toz-Sis (Dust-Fog) Testi	21
4.4 Tuz-Sis (Salt-Fog) Testi	23
V. POLYESTER İZOLATÖRLERİNDE BOZULMAYA ETKİ EDEN FAKTÖRLER.....	25
5.1 Gerilim Düzeyi	25
5.2 Akış Oranı	26
5.3 Malzeme Tipi	28
5.4 Yüzey Durumu	29
5.5 Dış Faktörler	29
VI. WEIBULL DAĞILIMI	30
6.1 Weibull parametreleri	30
6.2 Parametrelerin hesabı	31
VII. DENEYSEL ÇALIŞMA	34
7.1 Herhangi bir etki olmaksızın yapılan deneyler	34.

7.2 Sıcaklık (UV) etkisi altında yapılan deneyler	37
7.3 Ağırlık etkisi altında yapılan deneyler	43
7.4 Rüzgar etkisi altında yapılan deneyler	48
VIII.TARTIŞMA ve SONUÇ.....	53
IX. KAYNAKLAR	56
X. ÖZGEÇMİŞ	58

ŞEKİL LİSTESİ

- Şekil 1. Havai hatlarda kullanılan porselen izolatör
- Şekil 2. Epoksi reçine kullanılarak izole edilmiş bir akım transformatörü
- Şekil 3. Polyester izolatör
- Şekil 4. Yüzey aşınımının (surface tracking) mekanizmaları
- Şekil 5. Polyester izolatör test örneği
- Şekil 6. Test düzeneğinin gösterilimi
- Şekil 7. Yüksek gerilim elektrodu
- Şekil 8. Toprak elektrodu
- Şekil 9. Test düzeneğinin şematik gösterilimi
- Şekil 10. Eğik düzlem test düzeneğinin blok gösterilimi
- Şekil 11. Test örneğinin düzenekteki görünümü
- Şekil 12. Bu çalışmada kullanılan deney düzeneğinin genel görünümü
- Şekil 13. CTI testindeki elektrotlar
- Şekil 14. CTI test düzeneği
- Şekil 15. Toz-Sis Test Sistemi
- Şekil 16. Tuz-Sis Test Düzeneği
- Şekil 17. Akış hızının aşınmaya (tracking) etkisi
- Şekil 18. 4 kV test değeri için farklı akış oranlarındadeşarj olayı
- Şekil 19. ZnO'in aşınma (tracking) süresine etkisi
- Şekil 20. Dış etki olmaksızın normal şartlar altında yapılan deneylerde elde edilen bozulma süreleri
- Şekil 21. Test datalarının Weibull istatistiğine göre gösterilimi
- Şekil 22. UV etki altında yapılan deneyin düzeneği

- Şekil 23.** Önden 10 cm UV etkisi altında yapılan deneylerde elde edilen bozulma süreleri
- Şekil 24.** Sağdan ve soldan 10 cm UV etkisi altında yapılan deneylerde elde edilen bozulma süreleri
- Şekil 25.** Önden UV etkili deneylerde elde edilen test örneklerinin yüzey biçimleri
- Şekil 26.** Sağdan ve soldan UV etkili deneylerde elde edilen test örneklerinin yüzey biçimleri
- Şekil 27.** 2.5 kg ağırlık etkisi altında yapılan deneylerde elde edilen bozulma süreleri
- Şekil 28.** 5 kg ağırlık etkisi altında yapılan deneylerde elde edilen bozulma süreleri
- Şekil 29.** Ağırlık etkili deneyin kuvvet bileşenleri
- Şekil 30.** 2.5 kg ağırlık etkili deneylerde elde edilen test örneklerinin yüzey biçimleri.
- Şekil 31.** 5 kg ağırlık etkili deneylerde elde edilen test örneklerinin yüzey biçimleri.
- Şekil 32.** Rüzgar etkisi altında yapılan deneyin düzeneği
- Şekil 33.** Önden 25 cm rüzgar etkisi altında yapılan deneylerde elde edilen bozulma süreleri
- Şekil 34.** Sağdan ve soldan 25 cm rüzgar etkisi altında yapılan deneylerde elde edilen bozulma süreleri
- Şekil 35.** Önden rüzgar etkisi deneylerde elde edilen test örneklerinin yüzey biçimleri
- Şekil 36.** Sağdan ve soldan rüzgar etkisi deneylerde elde edilen test örneklerinin yüzey biçimleri
- Şekil 37.** Tüm deneylerde elde edilen ortalama bozulma sürelerinin karşılaştırılması

TABLO LİSTESİ

- Tablo 1.** ASTM ve IEC Standartlarında çeşitli gerilim seviyeleri için seri dirençlerin değerleri ve suyun akış oranları
- Tablo 2.** Polyester örneğinin üretiminde kullanılan farklı tipler
- Tablo 3.** Aşınımın başlangıç süresine gerilim seviyesinin etkisi
- Tablo 4.** Test datalarının Weibull istatistiğine göre düzenlenmesi
- Tablo 5.** UV etkinin test örneğindeki ilk ve son sıcaklık değerleri

ÖZET

POLİMERİK KATI YALITKANLARDA YÜZEY AŞINIMININ MEKANİK ETKENLER KARŞISINDAKİ DEĞİŞİMİ

Bu çalışmada yüksek gerilim teknolojisinde kullanılan polyester izolatörlerin yüzey aşınımı teorik ve deneysel metotlarla incelenmiştir. IEC 257 standartlarına uygun olarak “Eğik Düzlem” test düzeneği oluşturulmuş, test örnekleri herhangi bir dış etki olmaksızın, sıcaklık, ağırlık ve rüzgar etkisi altında yapılan deneyler olmak üzere 4 farklı etki altında incelenmiştir. Örneklerin bozulma süreleri belirlenmiş ve yüzey durumları incelenerek sonuçlar birbirleriyle ve daha önceki çalışmalarla karşılaştırılmıştır. Yapılan deneyler Weibull istatistiği kullanılarak değerlendirilmiştir.

ABSTRACT

INVESTIGATING THE ENVIRONMENTAL EFFECTS OF SURFACE TRACKING ON THE POLIMERIC SOLID INSULATORS

In this project the surface tracking phenomenon, which is one of the severe degradation mechanisms observed on polymeric outdoor insulation materials, has been investigated. Several accelerated test methods used to assess the surface performance of polymeric materials have been studied and compared. In the experimental part of the research, initially a test rig according to the IEC 587 Inclined Plane Tracking Test Standard has been built and several polyester samples have been tested under laboratory conditions. Tests have been performed under 4 different conditions, which are without any external effect, excess UV radiation from different locations, tensile stress across the longitudinal axis of the sample and air circulation around the test object. At the end the tracking times as well as the carbonised tracking patterns have been compared and the effects of external conditions have been investigated by using Weibull distribution.

I. GİRİŞ

Elektriğin icadından bu yana elektrik enerjisine olan talep gün geçtikçe artmaktadır. Büyüyen bu talep, enerji seviyelerinin ve gerilim düzeylerinin artmasına neden olmaktadır. Daha güçlü sistemler beraberinde ayrıca koruma sorunlarını da getirmektedir. Artan yüksek gerilim seviyeleri araştırmacıları yeni izolatör tipleri bulmaya zorlamıştır. Bu yüzyılın başından beri geniş bir şekilde kullanılan izolatörler cam, seramik ve porselenden oluşmaktaydı. Kolay kırılabilir olması, esnek olmayışları, üretim aşamasında karşılaşılan zorluklar ve ağır oluşları dezavantajlarıdır. Bu açıdan polyester malzemesi kullanımı çok daha elverişlidir. Çeşitli maddelerle karıştırılarak oluşturulmuş polyester izolatörün elektrik enerjisinde kullanılmaya başlanması çok eskiye dayanmamaktadır. Oldukça hafif bir malzemedен yapılmasına rağmen uzun süreli gerilmeler altında kaldığında polimerik izolasyon malzemelerinde kanal oluşumu (corona) ve yüzey aşınımı (surface tracking) meydana gelmektedir.

Yüzeysel aşınım, yüksek gerilimde kullanılan polyester izolatörün en önemli zayıflığıdır. Bu sebeple yüzey aşınımını inceleyen birçok standart ve test metotları geliştirilmiştir. Bu çalışmada deneysel olarak “*Eğik Düzlem Testi*” (*Inclined Plane Test*) kullanılmış ve farklı dış etkiler de yaratılarak izolatörün yüzey aşınımı ve bozulma süreleri incelenmiştir. Deney sonuçlarını istatistiksel olarak değerlendiren birçok metot bulunmaktadır. Bu çalışmada Weibull olasılık dağılımı kullanılarak elde edilen sonuçların tutarlılığı değerlendirilmeye katılmıştır.

II. YÜKSEK GERİLİMDEKİ KATI İZOLASYON MALZEMELERİ

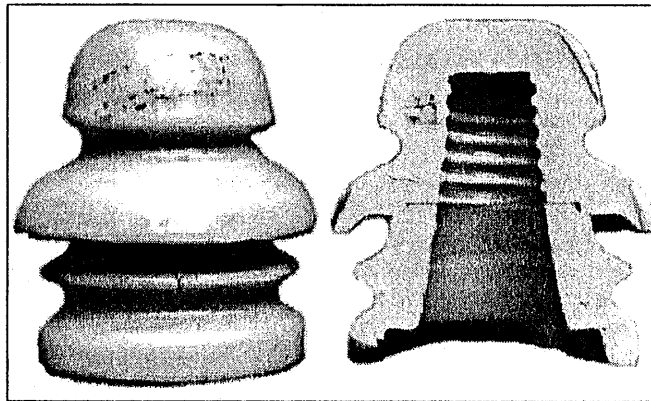
2.1 İnorganik Katı İzolasyon Malzemeleri

2.1.1 Alüminyum Oksit

Yüksek gerilim teknolojisinde en önemli yeri tutar. Alüminyum hidroksit ve oksihidroksitin ısıtılmasıyla elde edilir. Isı iletkenliği ve yüksek sıcaklıklarda izole etme özelliği vardır. Ayrıca seramik izolatörlerde dolgu malzemesi olarak ta kullanılır. 1000 °C de $10 \times 10^6 \Omega/\text{cm}$ resistansa sahiptir.

2.1.2 Porselen

Porselen, alüminyum silikat ($3\text{Al}_2\text{O}_3-2\text{SiO}_3$)'ın mulit fazına dönüşene kadar ısıtılmasıyla elde edilen çok fazlı bir seramik malzemedir [1]. Porselenin yüzeyi gözenekli olduğundan yüzeyi cilalanır. Çok kullanışlı bir malzeme olmasına karşın mekanik darbelere karşı dayanıklı değildir (Şekil 1).



Şekil 1. Havai hatlarda kullanılan porselen izolatör

2.1.3 Magnezyum Oksit (MgO)

Yaygın olarak kullanılan inorganik izolasyon malzemesidir. Isıl geçirgenliği yüksektir. İnorganik malzemeler içinde 60 Hz. frekansta dielektrik sabiti en yüksek malzemedir [2] .

2.1.4. Cam

Bilinen en eski yalıtım malzemesidir. Katılaştırma sırasında kristalleşmez, yüzey akımları düşüktür ve yüksek sıcaklıklarda güneş ışığını geçirdiği için ısıya karşı dayanıklıdır. Havai hat izolatörlerinde, transformatörler, kapasite ve devre kesicilerinde kullanılması tercih edilmektedir [1].

2.1.5. Mika

Doğal inorganik malzemeler sınıfına girmektedir. Kristal yapısı itibarıyla ince tabakalar haline dönüştürülmektedir. Üst üste getirilen bu tabakalar hava boşluklarını ve dolayısıyla kısmi boşalmaları önler. Diğer önemli özellikleri arasında 600 °C'ye kadar ısıya dayanabilmesidir. Rotorlu döner makinalarda stator izolasyonunda ve transformatör sargılarında kullanılmaktadır [1].

2.1.6 Metal-Oksit-Silisyum (MOS)

Yarıiletken teknolojisinde kullanılan yüksek ısıya dayanıklı malzemedir.

2.2. Organik Katı İzolasyon Malzemeleri

2.2.1 Polietilen (PE)

Enerji ve haberleşme kablolarında yaygın olarak kullanılan bir malzemedir. Dielektrik ve kayıp açısı düşüktür. -50 ile $+250$ °C arası bozulmadan kullanılabilme olanağı vardır. Yanma özelliği vardır. PE kablolarının düşük ağırlıklı ve büküm çaplarının küçük olması birer avantaj, kısmi boşalmalara karşı duyarlı olması ise dezavantajdır.

2.2.2 Polivinilklorür (PVC)

Kayıp açısı küçük ve maliyeti ucuz bir maddedir. Kabloların çekirdek yalıtımında kullanılır. Uygulamada 100 kV ile sınırlıdır.

2.2.3 Politetrafloroetilen – Teflon (PTFE)

Polietilen türevli bir malzemedir. Düşük dielektrik sabiti ve düşük kayıpları olan ısı kararlılığı mükemmel bir malzemedir. İzolatörler, kablolar, teller, motor ve generatörler

gibi özel yerlerde kullanılır. Özel fabrikasyon tekniği ile elde edildiğinden maliyeti yüksek bir üründür.

2.2.4 Epoksi Reçine

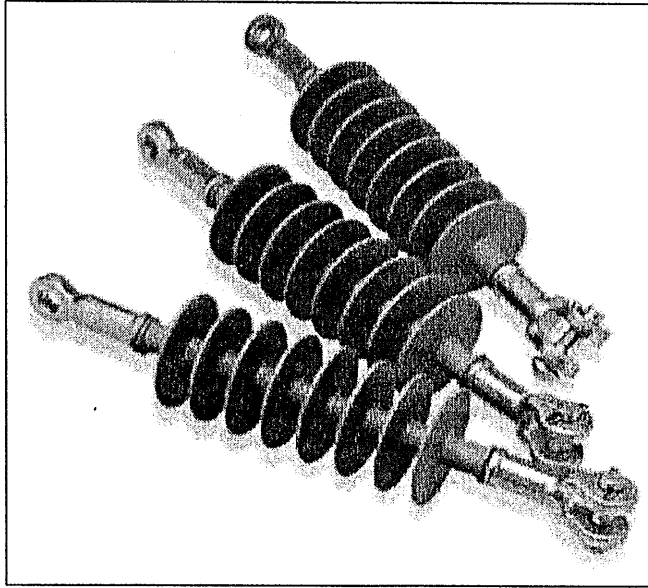
Sıkıştırıcı, hızlandırıcı, doldurucu, renklendirici ve esnekleştirici içerir. Epoksi reçinenin, elektriksel ve dielektrik özellikleri iyi değildir, ancak mekanik ve ısı özellikleri açısından yüksek gerilim sistemlerinde oldukça avantajlıdır. Dönerli makinaların statorlarındaki barlarda, kuru tip transformatörlerde, akım ve gerilim ölçü transformatörlerinde kullanılır (şekil 2).



şekil 2. Epoksi reçine kullanılarak izole edilmiş bir akım transformatörü

2.2.5 Polyester

Polyesterler genellikle bir dialkollün bir diesterle reaksiyonu sonucu elde edilirler. Üç grupta incelenirler. Kauçuk, termoplastik ve termoset. Kauçuklar, esnek yapıya sahiptirler ve kolayca şekil değiştirebilirler. Termoplastikler düşük erime sıcaklığına sahiptirler (100-120 °C). Soğukta kristalize olabilen ve olamayan olmak üzere iki alt gruba ayrılır. Termosetler ısıya dayanıklı materyeller olup mekanik darbelere dayanıklıdır [2]. Şekil 3'te yüksek gerilimde kullanılan polyester izolatörler görülmektedir.



Şekil 3. Polyester izolatör

III. KATI YALITKANLARDA BOZULMA

Katı yalıtkanlarda bozulma malzemenin moleküler yapısına ve morfolojisine bağlı olduğu kadar malzemenin geometrisine, sıcaklığına ve çeşitli çevresel faktörlere de bağlıdır. Katı yalıtkanlardaki bozulma yapıları birbiriyle ilişkilidir. Bu bölümde bu yapılara değinilmiştir.

3.1 Yaşlanma

Nem, ısıl değışiklik, güneş ışını, UV etkisi, mekaniksel gerilmeler vb. çevresel faktörler yalıtkanlarda yaşlanmayı hızlandırmaktadır. Ayrıca rüzgar etkisi de izolatörlerde bir titreşime neden olduğundan mekaniksel ve elektriksel bozukluklar yaratır. Yaşlanma; yüksek gerilim izolatörlerinde kanal oluşumu, kısmi deşarjlar ve ısınma gibi olumsuz etkilerin oluşmasına neden olmaktadır [3].

3.2 Kısmi Deşarj (Korona)

Korona izolasyonun kısmi delinmesi olarak tarif edilebilir. Belli başlı üç biçimde oluşmaktadır.

- İzolatördeki sivri uçlu elektrotta oluşan elektriksel alanın yaratmış olduğu bozulma,
- Farklı izolasyon malzemelerinden oluşmuş izolatörlerde bileşenlerden bir tanesinde meydana gelen bozulma,
- Yüksek alanın yaratmış olduğu bozulma.

Bunların dışında, malzemenin içinde oluşan hava boşluklarında oluşan koronalar ve yüzeyde meydana gelen deşarjlarda bu tanım içerisine katılabilir. Polimerik izolatörleri içinde hava boşluğu olmaksızın üretmek mümkün değildir. Üretim esnasında polyesterin içine yerleşen ve geçirgenliği (permiabilite) polyesterden daha az olan hava kabarcıkları, gaz basıncına ve diğer faktörlere bağlı kalarak bir yüksek alan oluşturmaktadır. Bu alan gazın iyonize olmasına ve boşlukta başlayan deşarjlara ve hatta delinmelere neden olmaktadır. Bu tür deşarjlar izolatörün bozulmasına hemen etkimezler fakat servis ömrünü kısaltırlar [4,5].

3.3 Kanal Oluşumu

Katı yalıtkanlarda kanal oluşumu, elektriksel ön boşalma olayı olarak izah edilebilir. Kontrol altında yapılmış numune içerisine tam olarak gömülmüş elektrotlar ile tek bir çığın geçişinden sonra delinme tamamlanabilir. Katotta yalıtkanın iletim bandına giren bir elektron, alanın etkisi ile çarpışmalar yaparak enerji kazanır ve bu enerjiyi, anoda ilerleyerek kullanır. Ortaya çıkan başka serbest elektronlarla da birlikte bu işlem sürer ve bir elektron çığı oluşur. Bu çığ eğer belirli bir kritik boyu aşarsa delinme gerçekleşir [6].

3.4 Termik Delinme

Bir yalıtkana oda sıcaklığında iken bir alan uygulanırsa iletim akımı genellikle düşüktür, fakat bunun değeri sıcaklıkla hızlı bir şekilde yükselir. Akım tarafından

Üretilen ısı kısmen çevreye verilip atılırken kısmen de yalıtkan içinde yutulup bu sıcaklığı üreten akımı, dolayısıyla sıcaklığı arttırır. Eğer yalıtkan içinde herhangi bir noktada üretilen ısıyı ağarsa kararsız bir durum ortaya çıkar ve yalıtkan numune termik delinmeyle tahrip olur. Malzemenin ısınmasına neden olan içinde kalmığ hava boşluklarıdır. Bu boşluklarda oluğan değarjlar i ısıyı arttırmaktadır [6].

3.5 Elektromekaniksel Delinme

Kırılmaksızın dikkate değer şekil değiştirmesine dayanabilen cisimler, mekanik basınç dayanımını ağan elektrostatik basınç kuvvetleri altında kırılabilir. Basınç kuvvetleri, gerilim uygulandığı zaman ortaya çıkan yüzey yükleri arasındaki çekme kuvvetlerinden ileri gelir [6,7].

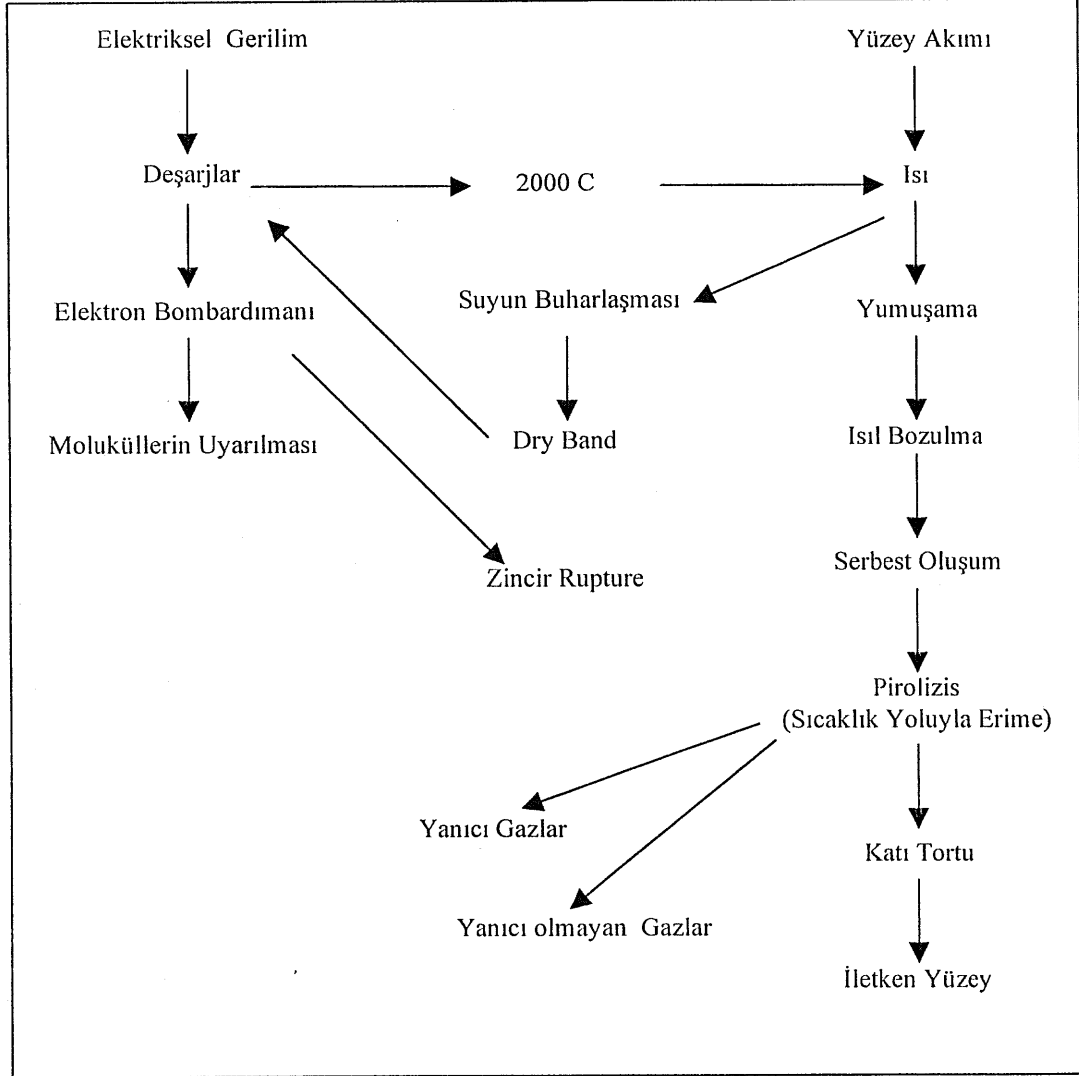
3.6 Erozyon

Polyester malzemenin yüzey değarjları, malzemenin moleküler ve atomik yapısında termik ve elektriksel değişikliklere neden olmaktadır. Bu değişiklikler malzemenin yalıtım ömrünü azaltmaktadır. Erozyon, malzemenin iç yapısındaki hatalardan (hava boşlukları vb.) ve dış etkilerden oluşmaktadır.

3.7 Yüzey Aşınımmı (Surface Tracking)

Yüzey aşınımmı daha çok polimerik izolatörlerde gözlemlenen bir bozulma biçimidir. Yüzey aşınımmı (surface tracking) sonucunda, izolatörün yüzeyi yanmaya bağlı olarak karbonlaşır ve o bölgede bir iz meydana gelir. Yüzeyde oluğan iz ve oluşum süresi,

izolatörde kullanılan polimerin moleküler yapısına, uygulanan gerilime, elektrot tipine, test sırasında yüzeyden akan suyun akış hızına bağlıdır [8,9]. Yüzey aşınımı oldukça karmaşık bir yapıya sahiptir (Şekil 4).



Şekil 4. Yüzey aşınımının (surface tracking) mekanizmaları

Katı yalıtkanlardaki yüzeyde oluşan kaçak akım, yüzeydeki nem ve kirlilikten kaynaklanmaktadır. Bu da doğal olarak yüzeyin bozulmasına ve bir karbonize yolun oluşmasına neden olmaktadır. Bu olaya *yüzey aşınımı* veya *yüzey iz oluşumu* (surface

tracking) denir. Karbonize yol toprak elektrottan diğetine doğrudur. Bu yolun tamamlanmasında bozulma tamamen gerçekleşmiş olur.

Yüzey aşınımı, düşük şiddetli deşarjların oluşumuyla başlar. Bu deşarjlar yüzeyden akan suyun iyonize bir tabaka oluşturmamasından meydana gelmektedir.

IV. YÜZEY AŞINIM TEST METOTLARI

Polimerik izolasyon malzemeleri servis ömürleri boyunca çeşitli yaşlanma mekanizmalarıyla karşı karşıya kalırlar. Birçok faktör yapının dielektrik özelliğine zarar vermekte ve sonucunda da bozulma meydana gelmektedir. Fakat bu işlem uzun sürmekte olduğundan malzemenin kalitesi hakkında bir sonuca varmak zor olmaktadır. Bu tür problemleri çözmek için laboratuvar şartlarında hızlandırılmış test metotları gerçekleştirilmiştir. Bunları kısaca şu şekilde sıralayabiliriz.

- Eğik Düzlem Testi (Inclined Plane Test)
- CTI Testi (Comparative Tracking Index Test)
- Toz-Sis Testi (Dust Fog Test)
- Tuz-Sis Testi (Salt Fog Test)
- Kuru Ark Testi (Dry Arc Test)
- Ayırık Nem Aşınım (Differential Wet Tracking) Testi
- Aşınım Dayanım Çarkı (Tracking Endurance Wheel) Testi

Bu testlerin bazıları güncelliğini yitirmiş olduğundan kullanılmamaktadır. Bu çalışmada, zaman içerisinde çeşitli düzeltmelere uğrayan ve günümüzde halen kullanılmakta olan başlıca testler incelenecektir. Bu tezde yapılan deneyler *Eğik Düzlem Testinde (Inclined Plane Test)* gerçekleştirildiği için bu teste daha ayrıntılı değinilecektir.

4.1 Eğik Düzlem Testi (Inclined Plane Test)

Eğik Düzlem Testi (Inclined Plane Test) ilk olarak 1961 yılında gerçekleştirildi ve 1964 yılında Amerika’da ASTM D2303 standardı olarak kabul edildi. Bu test ile ilgili olarak ilerleyen yıllarda IEC 587 standardı olarak yeni bir standart geliştirildi. ASTM ve IEC testleri arasında ufak tefek farklılıklar olmakla birlikte temelde aynı teoriye dayanmaktadırlar (Tablo 1). Bu çalışmada yapılan bütün testler eğik düzlem testinde (inclined plane test) gerçekleştirilmiştir (Bölüm VII).

Tablo 1. ASTM ve IEC Standartlarında çeşitli gerilim seviyeleri için seri dirençlerin değerleri ve suyun akış oranları

Transformatör Gerilimi (kV)	ASTM 2303		IEC 587	
	Seri Direnç (kohm)	Akış Oranı (ml/min.)	Seri Direnç (kohm)	Akış Oranı (ml/min.)
1.0-1.75	1	0.075	-	-
2.0-2.75	10	0.150	10	0.15
3.0-3.75	50	0.300	22	0.30
4.0-4.50	50	0.600	33	0.60

4.1.1 Test Örneğinin Yapılışı

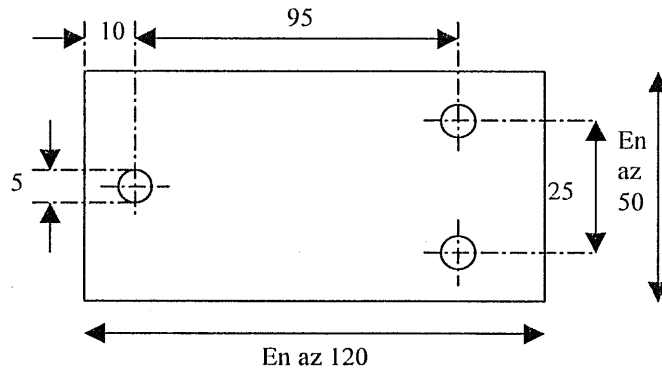
Bu çalışmadaki deneylerde kullanılan polyester; akışkanlığı (vizkosite) 25°C’de 400 c/s ve monomer %35 stirendir. Polyester reçinesi (Resin C) laboratuvarlarda hazırlanmıştır. Başlatıcı olarakta Metil-Etil-Keton-Peroksit (MEKP) kullanılmıştır.

Tablo 2’de polyester reçinesinin hazırlanışında uygulanan farklı formüller görülmektedir [16]. Bu çalışmada kullanılan polyester test örnekleri hazırlanırken polyester hacminin %2’si kadar Metil-Etil-Keton-Peroksit (MEKP) kullanılmış, hızlandırıcı katılmamıştır.

Tablo 2. Polyester örneğinin üretiminde kullanılan farklı tipler

Formül No	Catalizör-MEKP %50	Hızlandırıcı-%I Kobalt	Jel Süresi-20°C	Rengi
1	%1.0	Yok	90 dk.	Şeffaf
2	%2.0	Yok	50 dk.	Şeffaf
3	%2.0	%0.1	30 dk.	Şeffaf
4	%1.0	%0.4	15dak.	Soluk Pembe
5	%1.0	%1.0	8 dk.	Soluk Pembe
6	%0.5	%0.5	22 dk.	Soluk Pembe
7	%0.5	%1.0	11dk.	Leylak

Elde edilen karışım, kalıplara dökülerek birkaç dakika bekletilmiştir. Bu bekleme esnasında polyester içinde eğer hava boşlukları oluşmuşsa, bunların giderilmesi işlemi gerçekleştirilmiştir. Gerek karışım, gerekse kalıplama işleminde tahta ve cam kullanılmaya özen gösterilmiştir. Şekil 5’te deneylerde kullanılan test örneğinin boyutları verilmektedir.



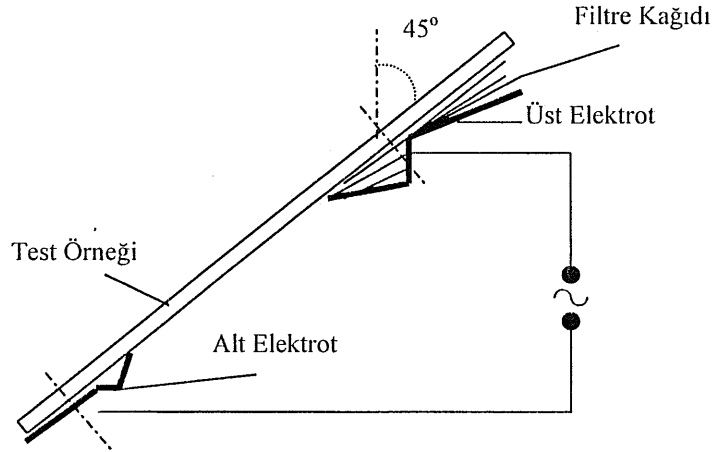
Şekil 5. İzolasyon test örneği

Test örneğinin üzerinden akacak olan sıvı içerisinde NH_4Cl olan bir çözeltidir. Test örneğinin üst kısmına yerleştirilecek olan yüksek gerilim elektrodu ile alt kısma yerleştirilmesi gereken toprak elektrodu arası en az 50 mm dir [10,11].

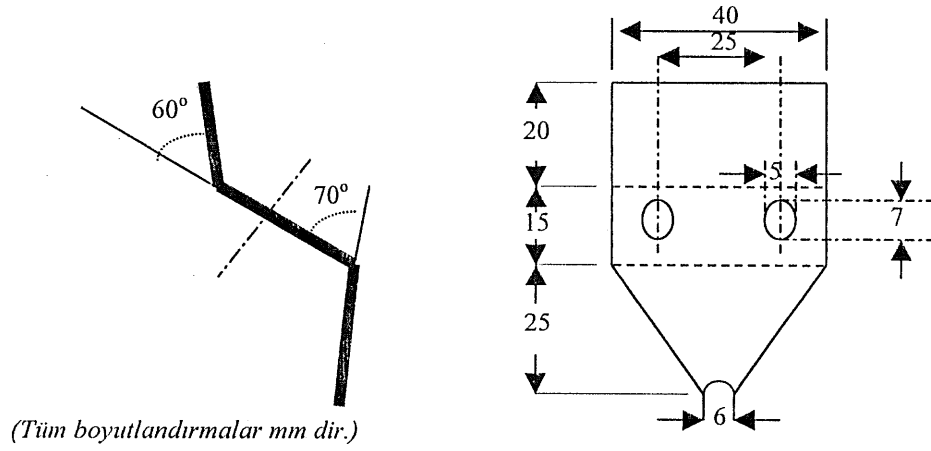
4.1.2 Deney Düzeğinin Kurulması

Şekil 6' daki düzenek bu çalışmada kullandığımız düzenektir. IEC standartlarına uygun olarak düzenlenmiştir. Test örneği üzerinde kullanılan elektrotların tamamı paslanmaz çelik olup korozyona karşı dayanıklıdır (Şekil 7-8).

Yüksek gerilim elektrodu ile test örneği arasına suyun düzenli bir şekilde akışını düzenlemeye yarayan 8 katlı, Whatman tipi filtre kağıdı bulunmaktadır. Yüksek gerilim elektrodu üstte, toprak elektrodu alttadır.

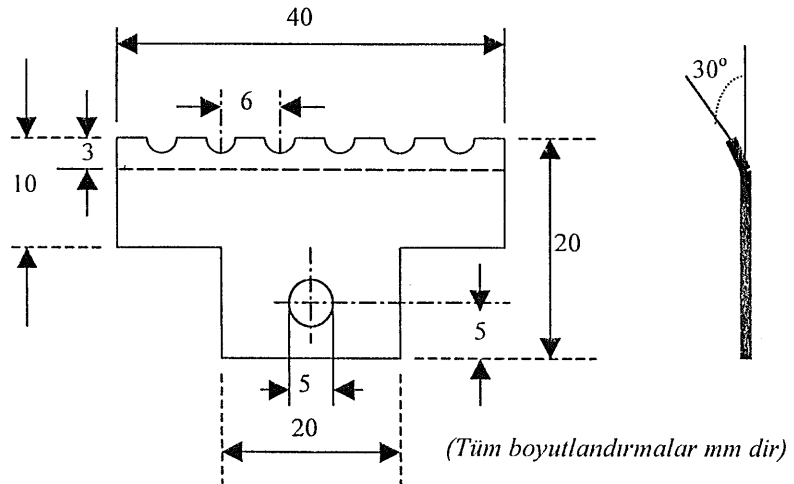


Şekil 6. Test düzeneğinin gösterilimi



Şekil 7. Yüksek gerilim (üst) elektrodu

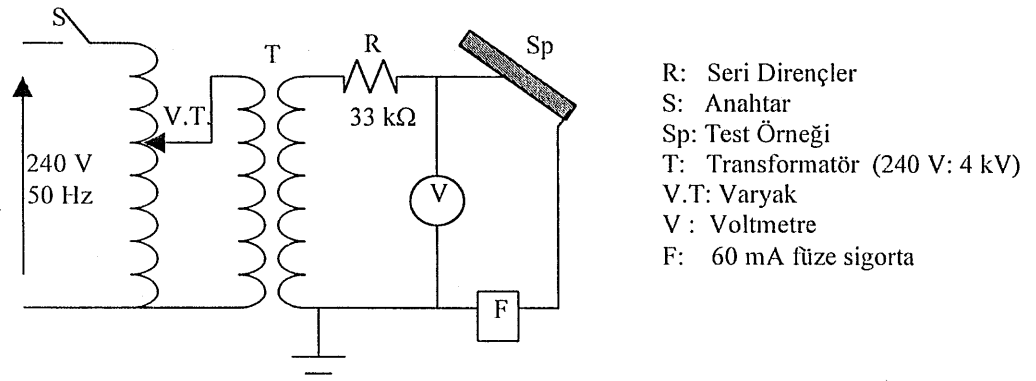
Yüksek gerilim elektrodu standartlarda belirtildiği gibi 33 kΩ'luk seri yada paralel dirençlerle sürülmekte ve kademeli olarak değerini değiştirebildiğimiz bir varyak ile beslenmektedir.



Şekil 8. Toprak elektrodu

Test örneğinin üzerinden akacak olan sıvının 36 ml/saat olmasına dikkat edilmiştir. Kullanılmakta olan sıvı, saf suyun içine 0.1 ± 0.002 oranında NH_4Cl ve 0.02 ± 0.002 oranında da Triton-X100 eklenmektedir. Test örneğinin dikey olarak 45° lik açı yapması nedeniyle, sıvı akışının yüzeyin tamamından geçmesi çözeltinin içine katılan Triton-X maddesiyle sağlanmıştır [9].

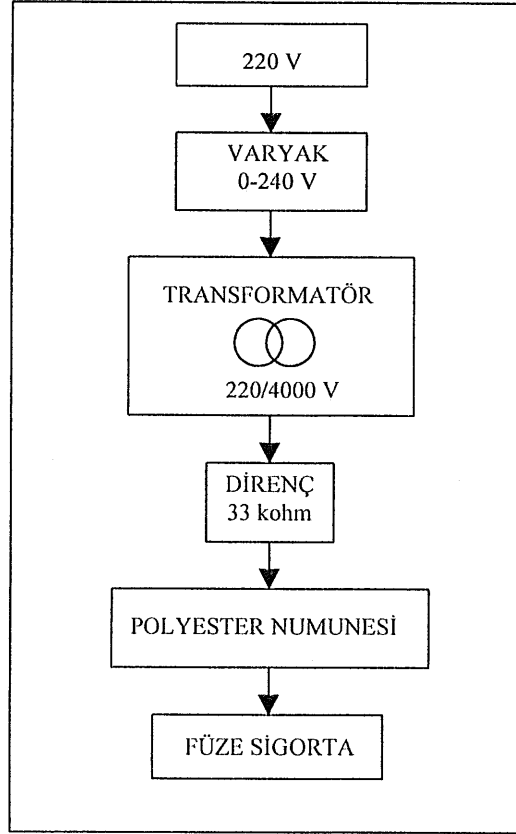
Toprak elektrodu ile toprak arasına 60 mA lik bir füze sigorta koyaral, test örneğinin yüzeyindeki deşarjların yaratmış olduğu ani akım yükselmelerini önlemiş olmaktadır. Test sisteminin şematik gösterilimi Şekil 9’da verilmiştir.



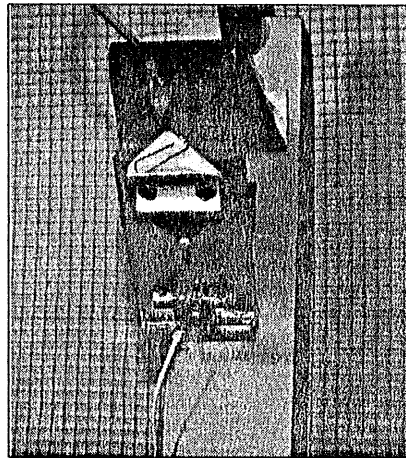
Şekil 9. Test düzeneğinin şematik gösterilimi

Çalışmada kullanılan düzeneğin blok gösterilimi Şekil 10’da belirtilmiştir. 220 V şebeke gerilimi varyak ile kontrol altında tutularak 220/4000 V çevirme oranına sahip transformatör yardımıyla 4 kV’luk değere ulaştırılmaktadır. Transformatör çıkışında bağlanan 33 kΩ’luk yüksek gerilime dayanıklı dirençler bulunmaktadır. Bu aşamadan sonra polyester test örneğinin üzerinde bulunan elektrotlara gerilim uygulanmaktadır. Test örneğinin yüzeyindeki deşarjların yaratmış olduğu ani akım yükselmelerini

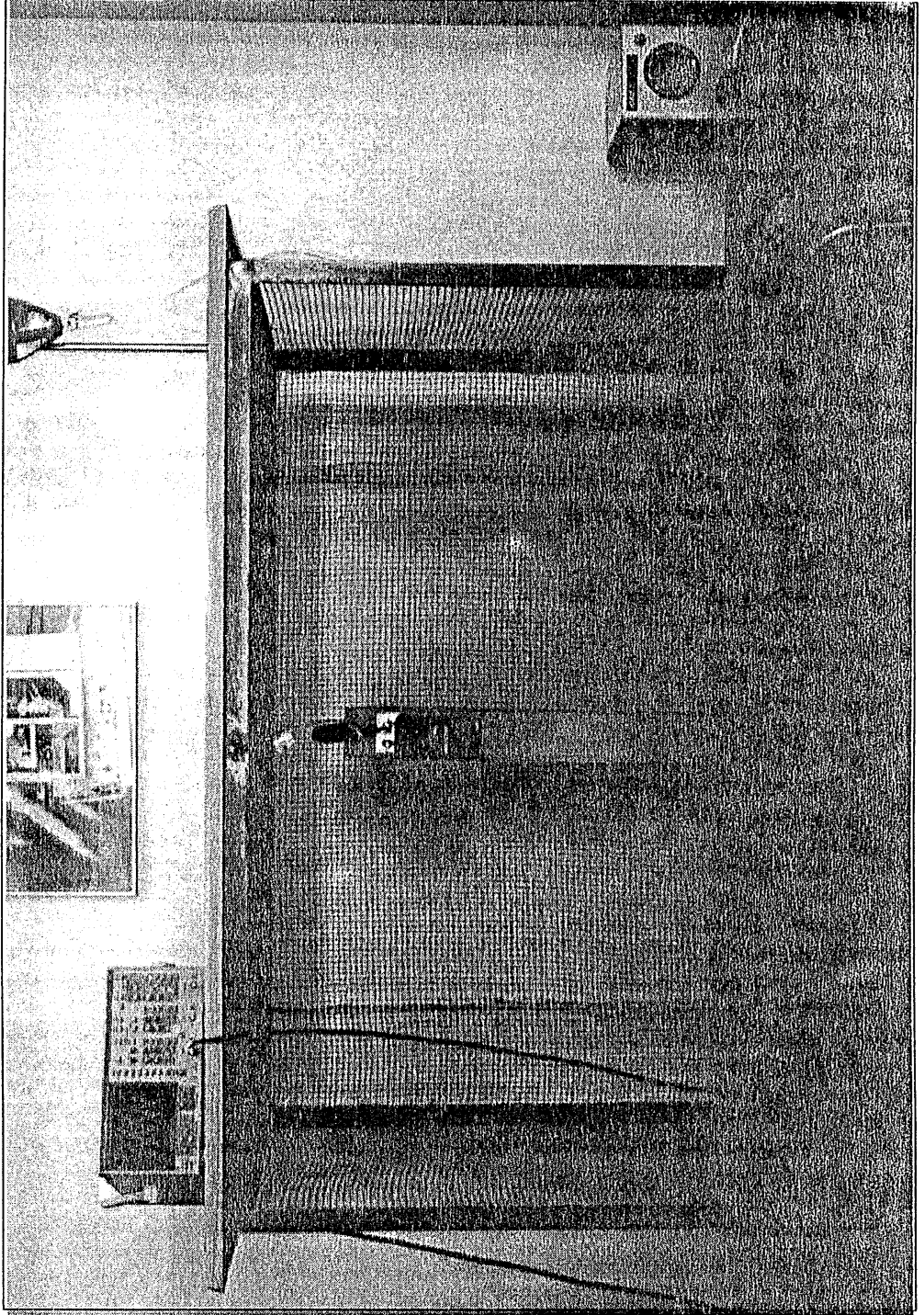
önlemek amacıyla füze sigorta olarak bilinen 60 mA'lik koruma düzeneğinde ilave edilmektedir. Şekil 11'de test örneğinin deney esnasında çekilmiş fotoğrafı görülmektedir. Deneylerde kullanılan test düzeneğinin genel görünümü Şekil 12'dedir.



Şekil 10. Eğik düzlem test düzeneğinin blok gösterilimi



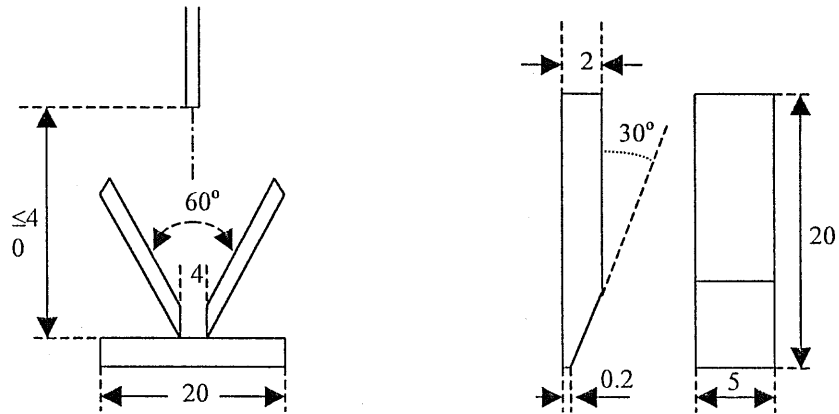
Şekil 11. Test örneğinin düzeneğindeki görünümü



Şekil 12. Bu çalışmada kullanılan deney düzeneğinin genel görünümü

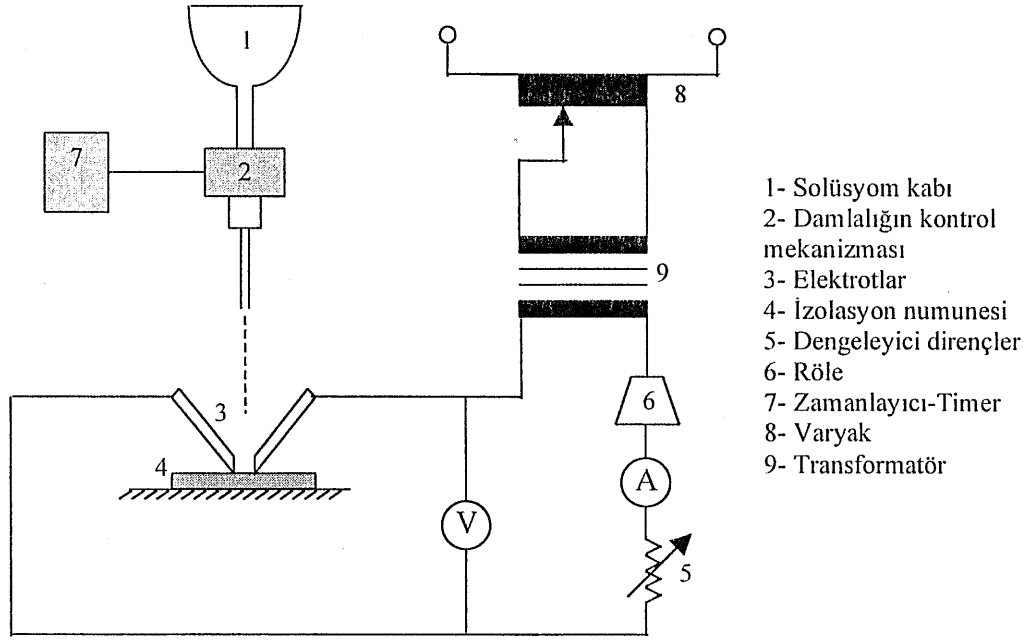
4.2 CTI Testi (Comparative Tracking Index Test)

“*Comparative Tracking Index Test*” olarak bilinmektedir. İlk olarak Norveç’te geliştirildi ve Uluslararası Elektroteknik Komisyonu (IEC) tarafından 1959 yılında standart haline getirildi. 1979 yılında ise IEC 112 standardı olarak son halini aldı. Testte iki adet 5mm×2mm ölçülerinde birbirine 60° lik açı yapacak şekilde duran iki platinyum elektrot kullanılmaktadır (Şekil 13).



Şekil 13. CTI testindeki elektrotlar

İzolasyon test örneğinin ölçüleri minimum 15mm×15mm×3mm dir ve yüzeyindeki kuvvet 1 ± 0.05 N olmalıdır. İzolasyon örneğinin yüzeyine damlatılan sıvı 0.1 ± 0.002 amonyum klorür içermektedir. Bu sıvı, elektrotlar arasına 30 ± 5 saniyede bir damla düşecek şekilde bir düzlekle birlikte kullanılmaktadır (Şekil 14).



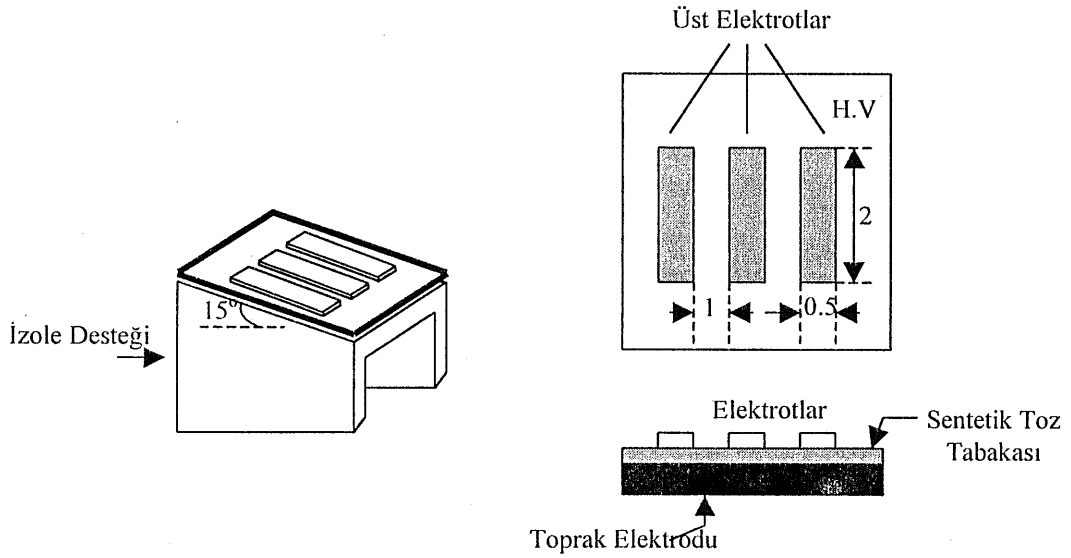
Şekil 14. CTI test düzeneği

Testten önce 150-750 V arası gerilim değeri seçilir ve devre direnci, kısa devre akımını 1 ± 0.1 A olacak biçimde sınırlayıcı bir değere ayarlanır. Test yaklaşık 50 damla düşene kadar sürdürülür. Eğer elektrotlar arasından akan akım değeri 0.5 A olursa bozulma gerçekleşir [12].

4.3 Toz-Sis Testi (Dust Fog Test)

Toz-sis testi ilk olarak 1956 yılında gerçekleştirildi ve ASTM D2132-68 standardı olarak 1979'da modife edildi. Bu testte polyesterin yüzeyi %3 NaCl içeren katı kir

tabakasıyla kaplanır ve yapay bir sise tabi tutulur. Test örneği 1.56 mm kalınlığında ve 152 mm² ölçülerindedir (Şekil 15).



Şekil 15. Toz-Sis (Dust-Fog) Test Sistemi

Elektrotlar yerleştirildikten sonra, örnekler sentetik toz tabakasıyla 0.5 mm kalınlığında kaplanır. Yapay toz maddesinin içerisinde şu maddeler bulunmaktadır.

- %85 Fling (SiO₂ kaplı)
- %9 Balçık
- %3 Tuz
- %3 Hamur kağıt

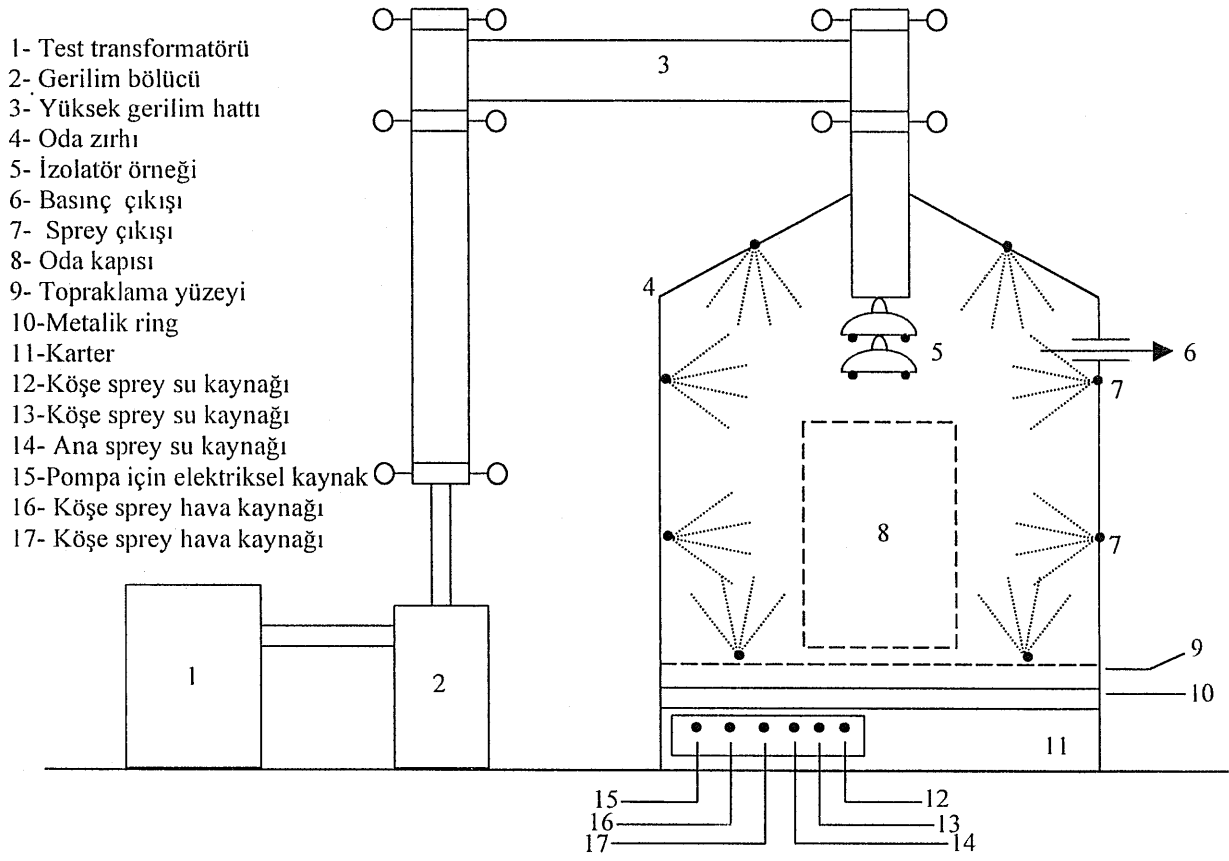
Bu karışımda tuz iyonik yüzey kiri yaratır ve diğer maddeler ise yapışkan özellikler taşırlar. Sprey ile nemi örnekler üzerine püskürttükten sonra 500 V luk ilk gerilim

uygulanır. Yüzeydeki nem kuruyana dek bu işlem sürer. Bu test; aşınım direnci, aşınım etkisi ve aşınım hassaslığı olarak sınıflandırılabilir. Tipik test süresi 500 saat olup, 2000 saat sonra test örneğinin kullanılamaz hale geldiği görülmektedir.

4.4 Tuz-Sis Testi (Salt Fog Test)

“*Salt-Fog Test*” olarak bilinmektedir. IEC 1109 standardı olarak literatürde geçmektedir. Polimerik izolatörlerde aşınım olayını en iyi bir şekilde anlatan metotlardan bir tanesidir. 10 kV’luk uygun bir test gerilimi kullanılır. Bu gerilim 25.4 mm çapında, 150-200 mm uzunluğundaki çubuk elektrotlara uygulanır. Test odası (Şekil 16) sis ile doludur. Spreyleme sistemi ile bu sis test örneğine püskürtülür. Her sis tanesinin büyüklüğü 50 μm ’den büyük olmalıdır. Bu test, aşınım olduğu yerin bölgesini gözlemlemeyi ve akım seviyesini (0.5-5 mA) düzenli bir şekilde yükseltmeyi amaçlamaktadır. Ancak bu test, bir izolatörün servis ömrü hakkında tahmini bir değer vermek yerine, malzemenin aşınım eğilimi hakkında bir sınıflandırma yapmaktadır.

Test sonuçlarının güvenliği ve doğruluğunu geliştirmek için, test prosedüründe bazı değişiklikler yapılmıştır. Mesela spreyleme işlemi belirli anlarda durdurularak, izolatör örneğinin su tutma (hidrofobik) yüzey karakterinin analizine olanak tanınmaktadır.



Şekil 16. Tuz-Sis (Salt-Fog) Test Düzeneği

V. POLYESTER İZOLATÖRLERDE BOZULMAYA ETKİ EDEN FAKTÖRLER

Yapılan çalışmalar, eğri yüzey testinde çeşitli faktörlerin polimerik izolasyonun yüzey aşınım süresini etkilediğini göstermiştir. Bu faktörleri nem, yüzeyden akan sıvının miktarı, test gerilimi, izolasyon örneğinin yapısı ve yüzey durumu biçiminde sıralayabiliriz.

5.1 Gerilim Düzeyi

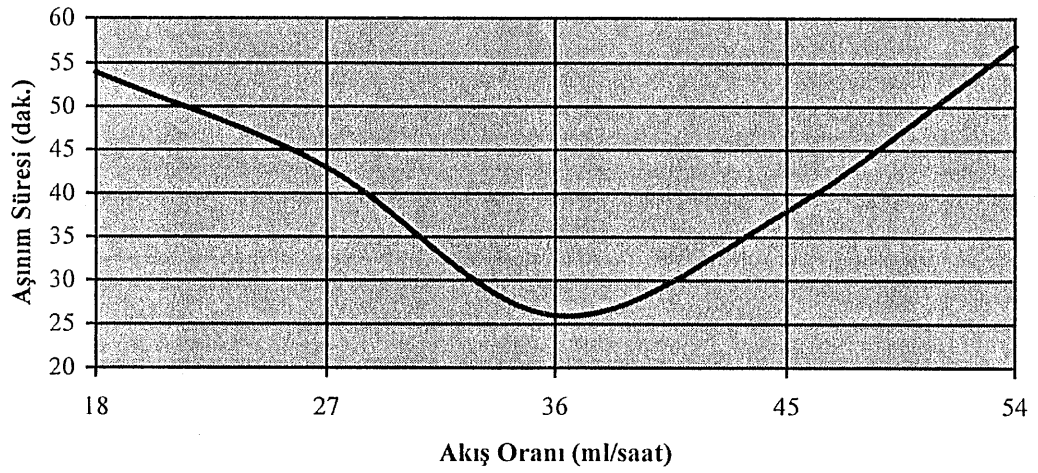
Gerilim düzeyinin yüzey aşınımına etkisi, çeşitli bilim adamları araştırmacılar tarafından incelenmiştir ve farklı transformatör gerilimleri için aşınım süresinin de farklılıklar gösterdiğini ortaya koymuşlardır [9]. Aşınım süresi, standartlarda belirtilen uygun gerilim düzeyi ve akış oranı için düzenli bir şekilde değişmekte; yüksek gerilim değeri ve düşük akış oranı için bu sürenin çok ani sapma gösterdiği bilinmektedir (Tablo 3).

Tablo 3. Aşınımın başlangıç süresine gerilim seviyesinin etkisi [9]

Uygulanan Gerilim (kV)	Sıvının Akış Oranı (ml/saat)	Aşınımın Başlangıç Süresi (dk.)
3.5	36	180
4.0	36	26.41
4.5	36	24
5.0	36	22
6.0	36	6.5

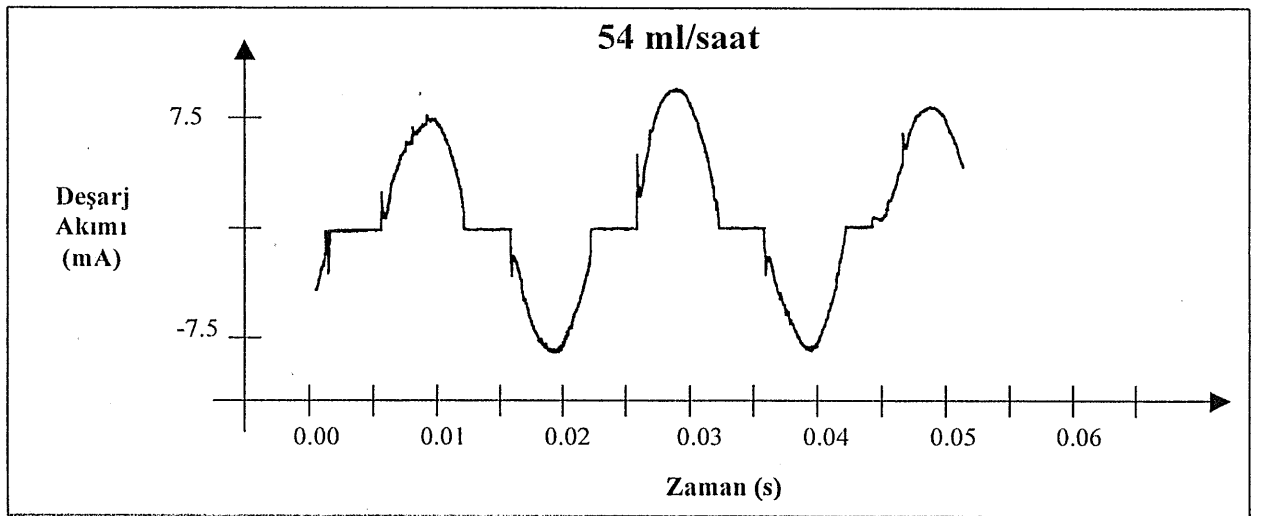
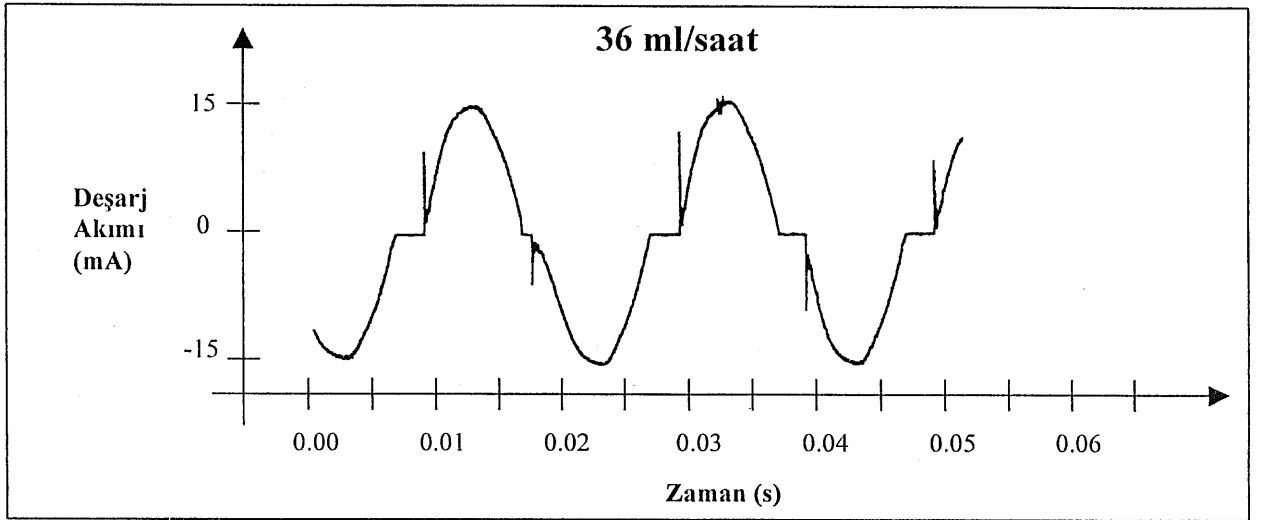
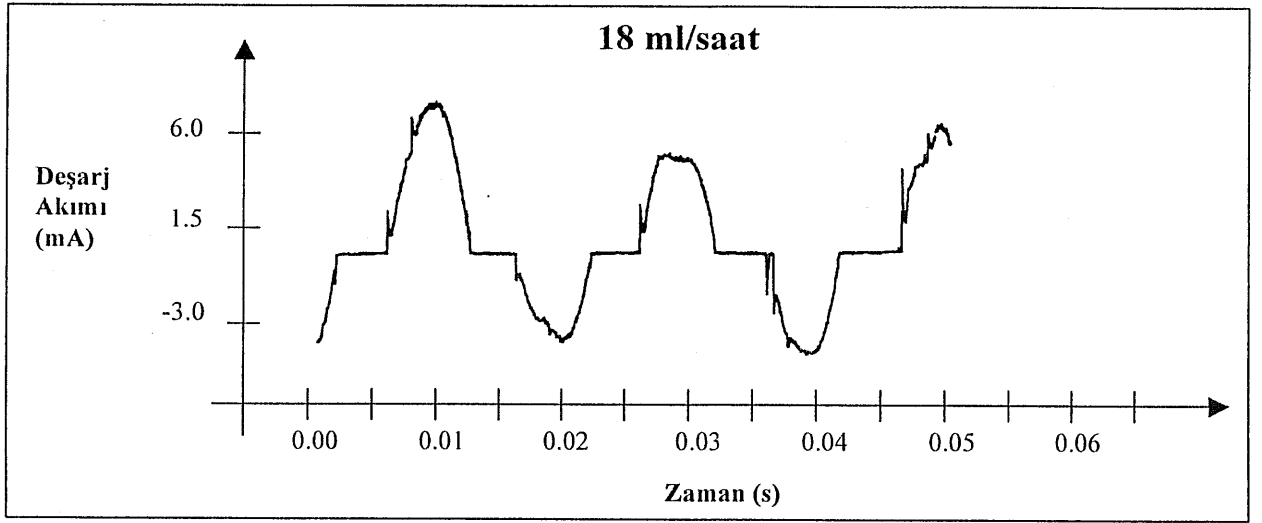
5.2 Akış Oranı

Yapılan çalışmalar sonucunda maksimum verim elde etmek için, optimum akış oranları elde edilmiştir (Şekil 17). Akış oranındaki artış malzemeyi daha kararlı hale getirmekte ve daha düşük yüzey direncinin oluşmasına neden olmaktadır. Böylece toprak elektrodunda daha güçlü arkların oluşmasına olanak tanınmış olur.



Şekil 17. Akış hızının aşınmaya (tracking) etkisi [9]

36 ml/saat olan akış oranından daha yüksek bir değerdeki akış, büyük genlikli deşarjlara neden olur, ancak bu deşarjlar daha az zararlıdır. Çünkü bunlar kararlı ve sürekli değildirler. Ayrıca yüksek akış hızı yüzeyin soğumasına yardımcı olmakta ve bozulmaya geciktirici etki yapmaktadır (Şekil 18).

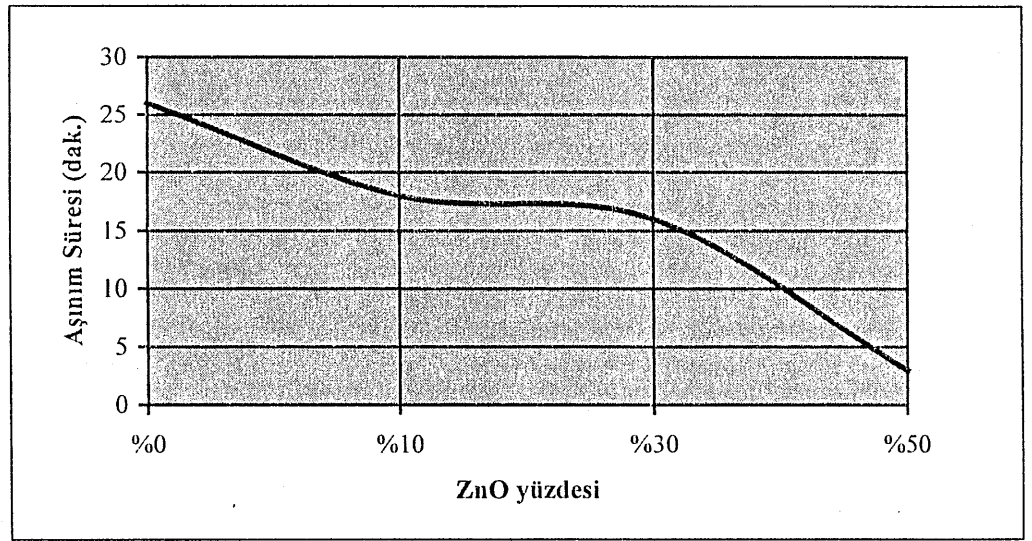


Şekil 18. 4 kV test değeri için farklı akış oranlarında deşarj olayı [9]

5.3 Malzeme Tipi

Birçok uygulamada reçineler katkı malzemeleriyle karıştırılırlar. Bu ilaveler reçinenin elektriksel ve mekaniksel özelliklerini olumlu bir düzeyde artırıcı etki yapmaktadır. Ayrıca yüzey elektriksel deşarjlara karşı dirençlidirler [9].

Geçmiş çalışmalarda içinde çok farklı oranlarda ZnO karışımı olan polyester örneği testleri yapılmıştır. Şekil 19'da görüldüğü gibi çok ilginç sonuçlar çıkarmak mümkündür. Buna göre ZnO oranı arttıkça, aşınım süresinin düştüğü bariz olarak görülmektedir.



Şekil 16. ZnO'in aşınım süresine etkisi [9]

ZnO şekilsiz, beyaz veya sarımsak bir toz malzemedir. Saf çinko metalin oksidasyonu sonucu elde edilmektedir.

5.4 Yüzey Durumu

Yüzeyi pürüzlü bir test örneğinde sıvı akışını düzenlemek çok güçtür. Düzenli bir akış sağlandığında, elektrotlar arasındaki direnç etkisi de azaltılmış olur [13].

5.5 Dış Faktörler

Yukarıda anlatılanların dışında aşınım süresini etkileyen dış faktörlerin de olduğu bu çalışmanın konusu olduğundan ilerleyen bölümlerde bu konuya açıklık getirilecek ve bu etkinin düzeyi tartışılacaktır.

VI. WEIBULL DAĞILIMI

Bir izolatörün servis ömrünü uygulanan gerilim ile bozulma süresi arasındaki ilişki belirler. Bu parametreler malzemenin yapısı için önemli parametrelerdir [14]. Yapılan çalışmalarda araştırmacılar; izolasyon malzemelerinin servis ömrünü tahmini olarak elektriksel ve ısı şiddetlerine bağlı kalarak modellemişlerdir. Bu modeller genellikle iki temel yaklaşımdan türetilir. Birincisi; yapının bozulmasına neden olan sebepler üzerindeki çalışmayı ifade eder ve uygulanan gerilim ve zamanı inceler. İkincisi ise gözlemsel bulgularla servis ömrünü yaklaşık bir modelle oluşturmaktır. Eğer test sonuçları tutarlı ise istatistiksel modelleme daha doğru ve güvenilir olmaktadır.

1970'li yıllardan beri, Weibull olasılık hesapları katı yalıtkanlarda bozulmanın zamanla olan ilişkisinde çok önemli bir kabul görmektedir. Çok rastsal (random) sonuçların çıktığı bu tip deneylerde mükemmel bir yaklaşım getirmektedir. Weibull istatistiksel hesapları aynı zamanda deneylerde elde edilen sonuçların rastsal (random) olmasına rağmen, tutarlı olup olmadığı hakkında da fikir vermektedir.

6.1 Weibull Parametreleri

Diğer etkilerle birlikte izolasyon örneğine elektriksel gerilim uygulandığında, hata zamanını analiz etmek için kümülatif (toplayıcı) bir fonksiyon kullanılır. Kümülatif Weibull fonksiyonu $F(t)$ şu şekilde gösterilir:

$$F(t) = 1 - e^{-\lambda(t-L)^m} \quad (6.1)$$

burada,

λ : ölçü parametresi

m: şekil parametresi

L: konum parametresi

T: zamana bağlı rastsal (random) değişken

“F(t)” test örneğinin belli bir t anındaki bozulma (breakdown) olasılığıdır. Ölçü parametresi “ λ ”, polyester örneğinin tam bozulması için geçen sürenin %63.2’sini gösteren bir parametredir. Şekil parametresi “m” dağınık bozulma süresinin bir ölçütü ve “L” ise uygulanan gerilim ile bozulma olasılığının tartışıldığı süre arasındaki zaman dilimini ifade etmektedir. Buna göre:

$$0 < t \leq L \quad \text{için} \quad F(t) = 0$$

6.2 Parametrelerin Hesabı

Maksimum olasılık (maximum likelihood), doğrusal kestirim (linear estimation) ve grafiksel çizim teknikleri (graphical plotting technique) parametrelerin hesaplanmasında kullanılan metodlardandır. Maksimum olasılık (maximum likelihood) tekniği bunlar arasında en iyisidir. Çünkü fazla test örneği için geliştirilmiştir. Bu açıdan verilerin doğruluk oranı çok yüksektir. Doğrusal kestirim (linear estimation) tekniğinde geliştirilmiş iyi bir yöntemdir. Fakat, her test örneğinin boyutu için ayrı bir ağırlık

tablosuna ihtiyaç duyulmaktadır [9,15]. Grafiksel çizim tekniği (graphical plotting technique) kullanımı açısından son derece uygun ve basit bir metottur. Grafiksel çizim tekniğine göre:

t_i , hatanın olduğu i . zamanı gösterirse ; $F(t)$:

$$F(t) = \frac{i}{1 + N} \quad (6.2)$$

burada;

i : örnek numarası

N : toplam örnek sayısıdır.

Güvenirlilik fonksiyonu $R(t)$ şu şekilde ifade edilir:

$$R(t) = 1 - F(t) \quad (6.3)$$

$$R(t) = \frac{(N + 1 - i)}{(N + 1)} \quad (6.4)$$

Eğer (6.3) ifadesi (6.1)'de yerine yazılırsa $L=0$ için $R(t)$;

$$R(t) = e^{-\lambda.t^m} \quad (6.5)$$

$$\ln R(t) = -\lambda.t^m \quad (6.6)$$

(6.6) bağıntısının her iki tarafının logaritması alınır;

$$\ln[\ln R(t)] = m \cdot \ln t + \ln \lambda \quad (6.7)$$

elde edilir. Buradan;

$$-\ln R(t) = \ln \frac{(N+1)}{(N+1-i)} \quad (6.8)$$

(6.8) ifadesi çeşitli zaman değerleri için polyester izolatörün bozulma olasılığını yüzde olarak gösteren bir denklemdir. Bu çalışmada herhangi bir etki olmaksızın yapılan deneylerin sonuçlarının tutarlılığı VII. Bölüm’de Weibul istatistiksel yöntemi kullanılarak incelenmiştir.

VII. DENEYSEL ÇALIŞMA

Deneyisel çalışmalar laboratuvar ortamında, tarafımızdan ASTM ve IEC test standartlarına uygun olarak kurulan test düzeneğinde gerçekleştirilmiştir (Şekil 12). 4 ayrı kategori altında deneyler yapılmıştır.

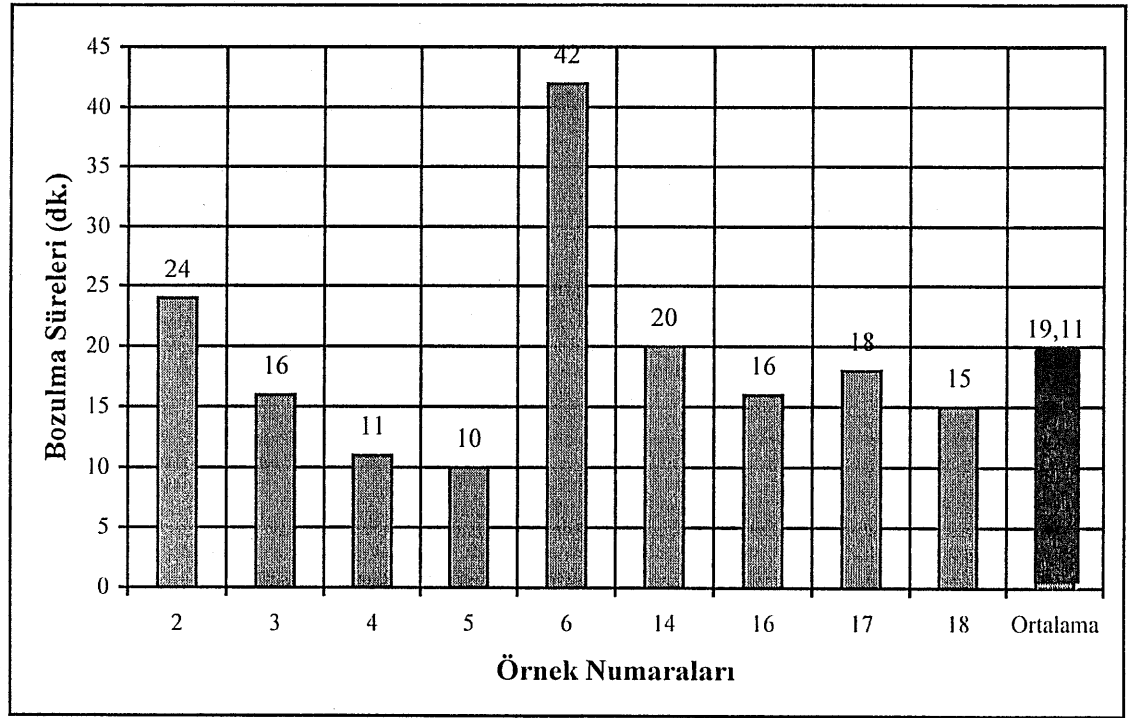
1. Herhangi bir dış etki olmaksızın yapılan deneyler,
2. Sıcaklık (UV) etkisi altında yapılan deneyler,
3. Ağırlık etkisi altında yapılan deneyler,
4. Rüzgar etkisi altında yapılan deneyler.

7.1 Herhangi bir dış etki olmaksızın yapılan deneyler

Deneyler 9 örnek üzerinde gerçekleştirilmiştir. Test örneklerinin bozulma süreleri ortalaması 19 dk. olarak bulunmuştur. Örneklerin bozulma süreleri Şekil 20’de verilmiştir.

Weibull Dağılımı

Bölüm VI’da Weibull dağılımı hakkında geniş bir bilgi verilmişti. Weibull istatistiksel dağılımı bize; elde edilen sonuçların tutarlılığı hakkında bilgi vermekte ve kullanılan polyester malzemenin belli “t” anındaki bozulma olasılığının belirlenmesinde kolaylık sağlamaktadır.



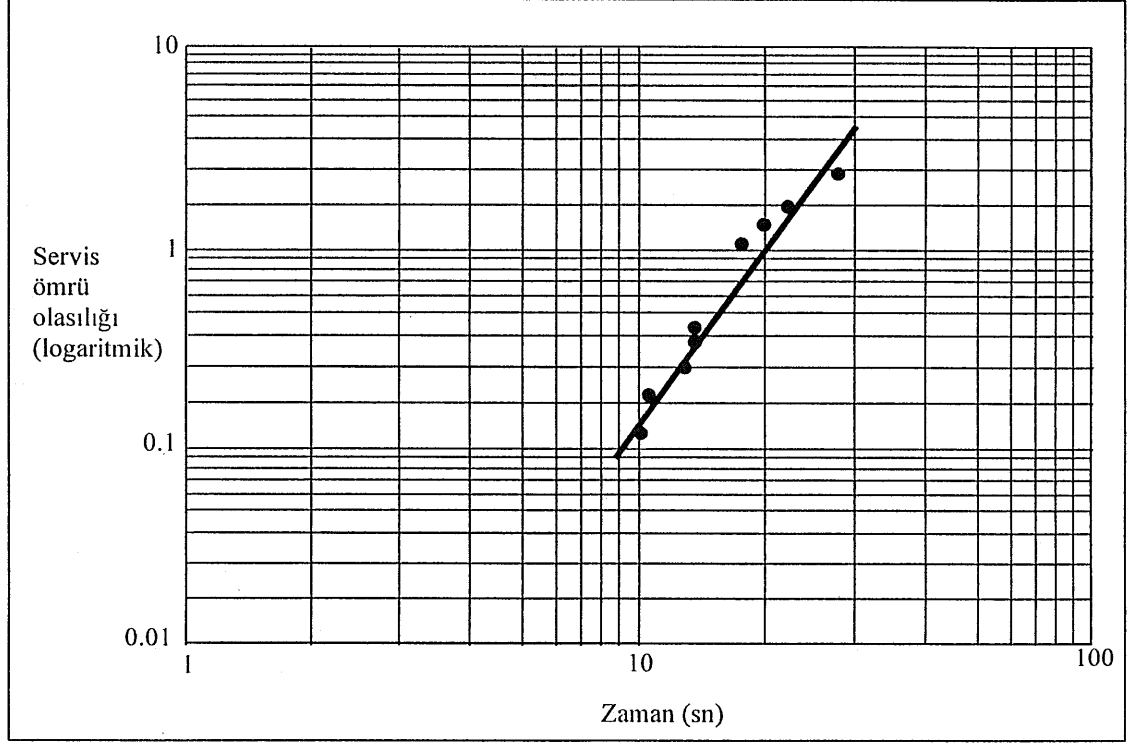
Şekil 20. Dış etki olmaksızın normal şartlar altında yapılan deneylerde elde edilen bozulma süreleri

Herhangi bir dış etki olmaksızın yapılan deneylerde elde edilen veriler ve Weibull değerleri Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 4. Test datalarının Weibull istatistiğine göre düzenlenmesi

Örnek Sayısı (i)	Bozulma Zamanı (dak.)	$\ln = \frac{(N+1)}{(N+1-i)}$
1	10	0.105361
2	11	0.223144
3	15	0.356675
4	16	0.510826
5	16	0.693147
6	18	0.916291
7	20	1.203973
8	24	1.609438
9	42	2.302585

Test örneği sayısı 9 (N=9), standart gerilim 4 kV ve çözeltinin akış hızı 36 ml/saat tir. Elde edilen grafik Şekil 21’de verilmiştir.



Şekil 21. Test datalarının Weibull istatistiğine göre gösterilimi

Grafikteki çizgi, noktaların oluşturduğu ortalama bir doğru olarak kabul edildiğinde; bu doğrunun eğiminden Bölüm VI’da bahsedilen Weibull parametrelerine ulaşılabilir. m şekil parametresi (7.1) bağıntısından elde edilir. Bu değer gerçekte çizilen doğrunun eğimidir.

$$m = \left(\frac{\ln[\ln R(t_2)] - \ln[\ln R(t_1)]}{\ln\left(\frac{t_2}{t_1}\right)} \right) \quad (7.1)$$

t_2 ve t_1 Tablo 4'ten alınan rastgele zaman değerleridir. Buna göre şekil parametresi $m=3.51$ olarak bulunmuştur. (6.7) ve (6.8) ifadelerinde $\ln \frac{(N+1)}{(N+1-i)} = 1$ değerini veren " t " zamanı için " λ " ölçü parametresi hesaplanmıştır.

$$\ln[1] = 3.5 \ln t + \ln \lambda \quad (7.2)$$

(7.2) ifadesinden ölçü parantresi $\lambda=3.34 \cdot 10^{-5}$ dir. Elde edilen parametrelerden (6.6) ifadesini kullanarak Weibull güvenilirlik fonksiyonunu elde edilmiştir.

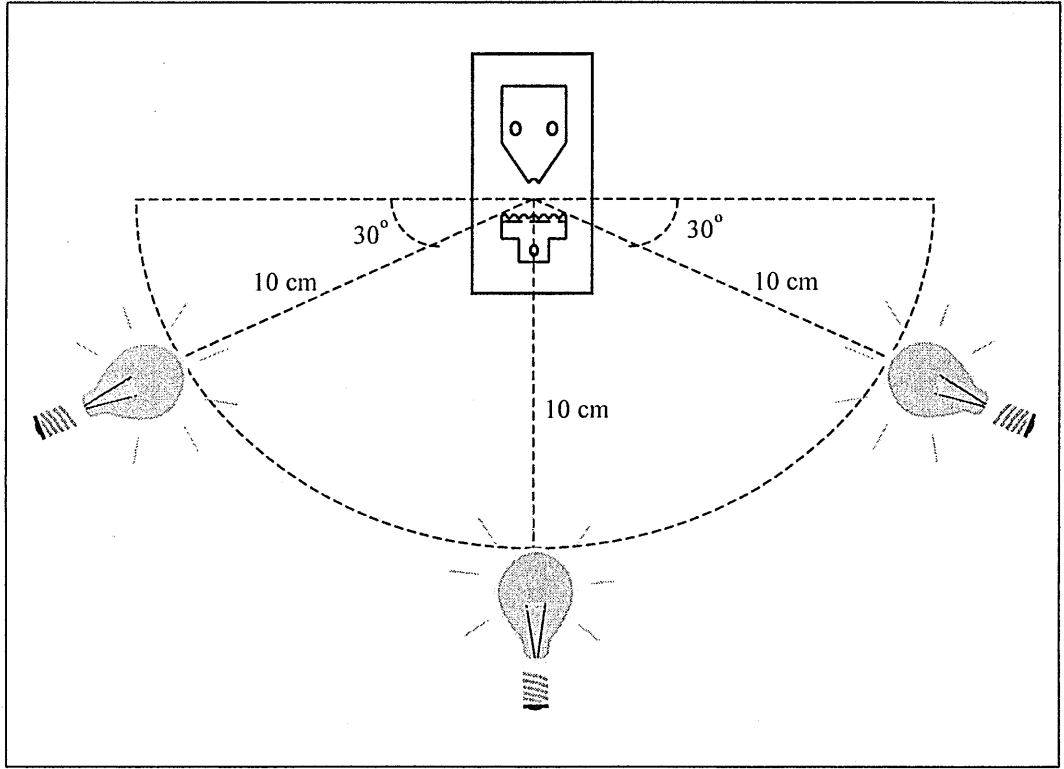
$$R(t) = e^{-3.34 \times 10^{-5} \times t^{3.5}} \quad (7.3)$$

Bu fonksiyon bize herhangi bir " t " anında malzemenin bozulma olasılığını vermektedir. Weibull istatistiksel hesapları çeşitli dış etkiler altında yapılan deney sonuçları için de gerçekleştirilebilmektedir.

7.2. Sıcaklık (UV) etkisi altında yapılan deneyler

Sıcaklık etkisi altında yapılan deneyler iki aşamada gerçekleştirilmiştir (Şekil 22).

1. UV ısı kaynağının önden 10 cm uzaklıkta iken,
2. UV ısı kaynağının sağdan ve soldan 10 cm uzaklıkta iken yapılan deneyler.



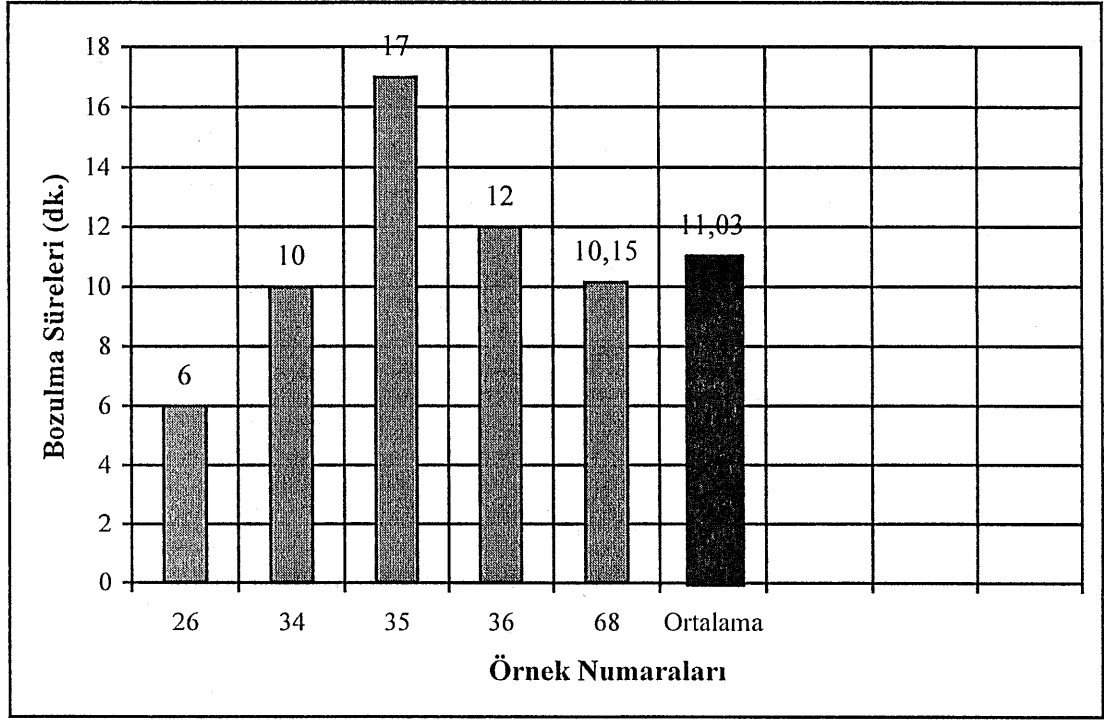
Şekil 22.. UV etki altında yapılan deneyin düzeneği

Sıcaklık (UV) etkisi altında yapılan deneylerde test örneği 10 dakika UV ısı kağınağı ile ısıtılmış, test örneğinin yüzeyindeki sıcaklık ölçülmüş ve daha sonra gerilim uygulanmıştır. Bozulma gerçekleştiğinde ise sıcaklık tekrar ölçülmüştür. Değerler Tablo 5’de verilmiştir.

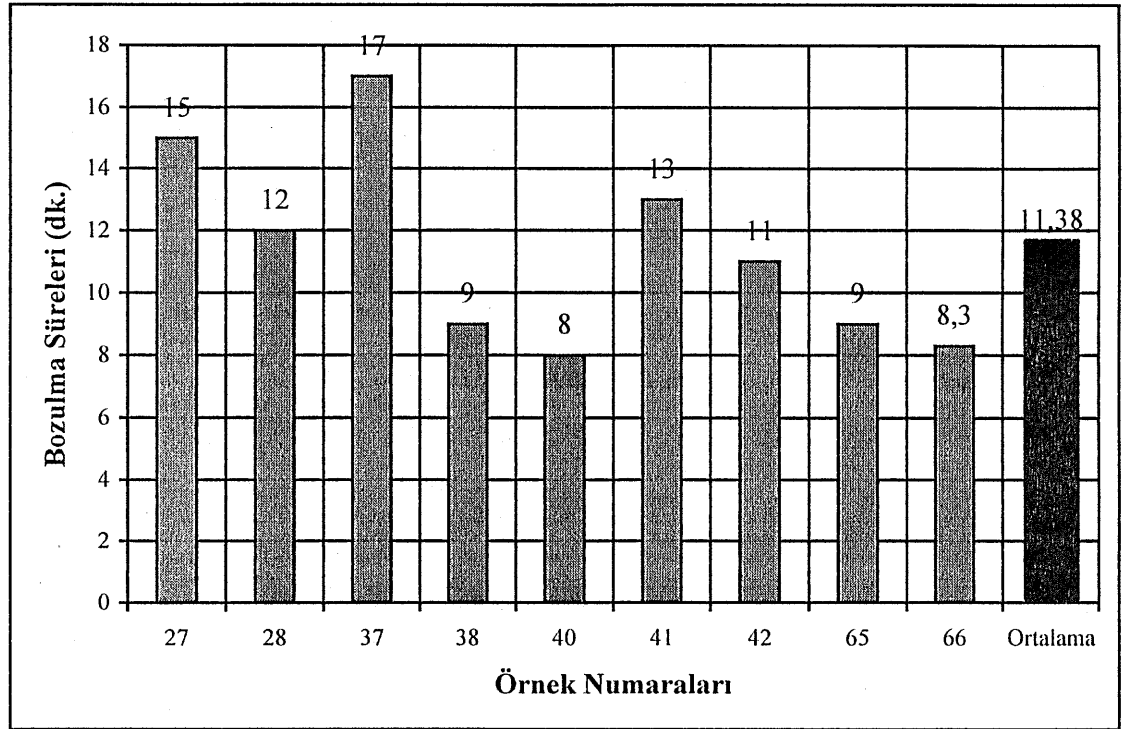
Tablo 5. UV etkili test örneklerindeki ilk ve son sıcaklık değerleri

Önden 10 cm UV etkisi			
Örnek No	İlk Sıcaklık °C	Son Sıcaklık °C	Bozulma Süresi (dk.)
26	50	58	6
34	49	69	10
35	58	73	17
36	59	73	12
68	52	71	10.15
Ortalama	53.6	68.8	11.05
Sağdan ve Soldan 10 cm UV			
Örnek No	İlk Sıcaklık °C	Son Sıcaklık °C	Bozulma Süresi (dk.)
27	53	70	15
28	53	64	12
37	46	77	17
38	59	70	9
40	49	72	8
41	53	70	13
42	53	73	11
65	45	65	9.10
66	53	71	8.30
Ortalama	51.55	70.2	11.38

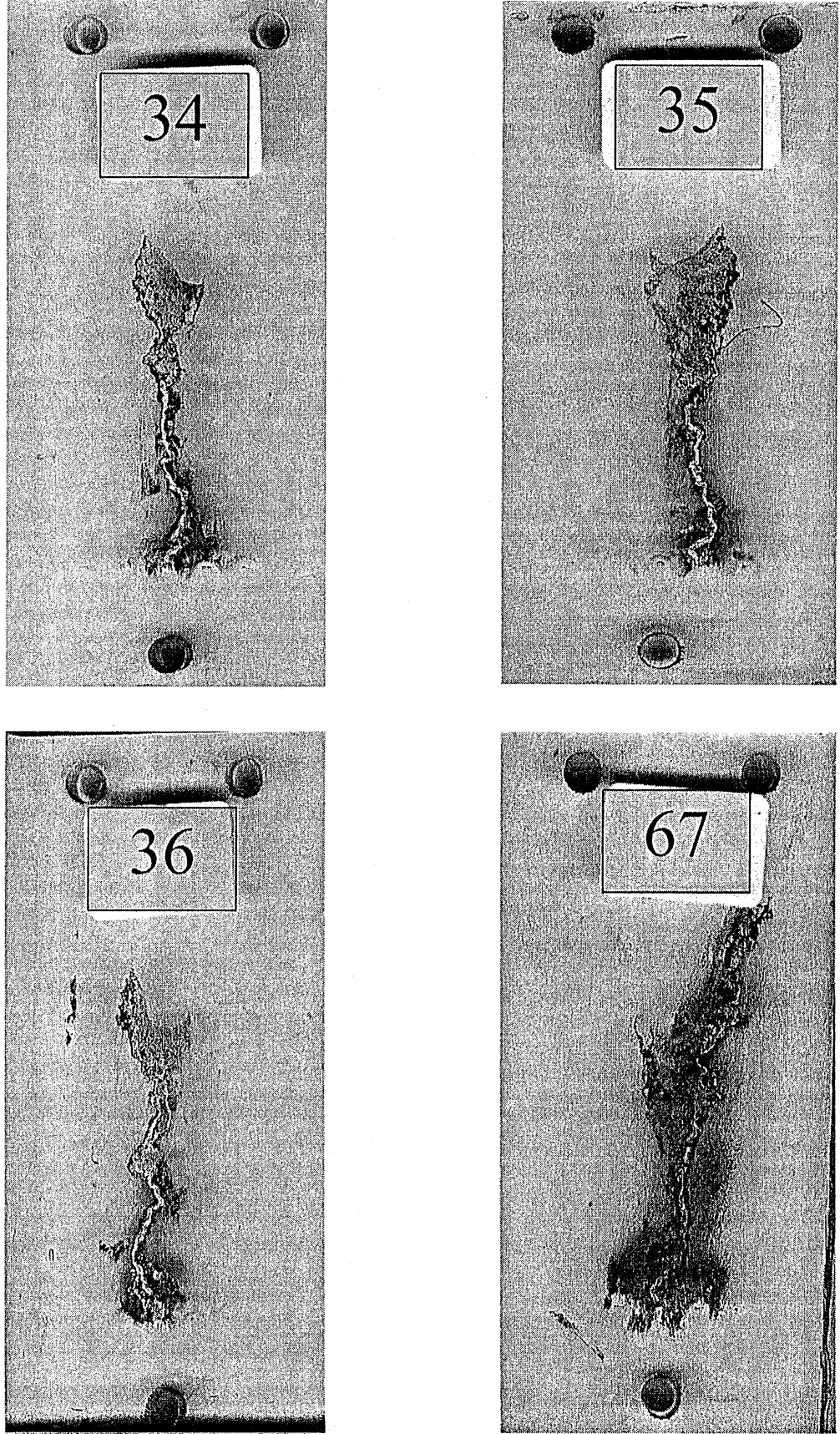
UV kaynağın 10 cm uzaklıkta iken önden yapılan deneylerin sayısı 5, yine 10 cm uzaklıkta iken sağdan ve soldan yapılan deneylerin sayısı 9 dur. Elde edilen bozulma süreleri ortalamaları sırasıyla 11.05 dk. ve 11.38 dk. olarak bulunmuştur. UV kaynağın yandan ve önden uygulandığı durumlarda elde edilen aşınma süreleri ve ortalamalar Şekil 23 ve Şekil 24'te, yapılan deneylerde polyester örneklerinde oluşan yüzey aşınımları ise Şekil 25 ve Şekil 26'da görülmektedir



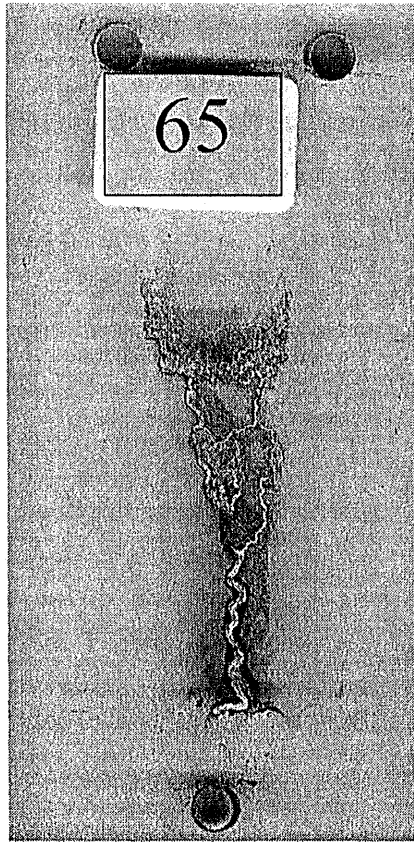
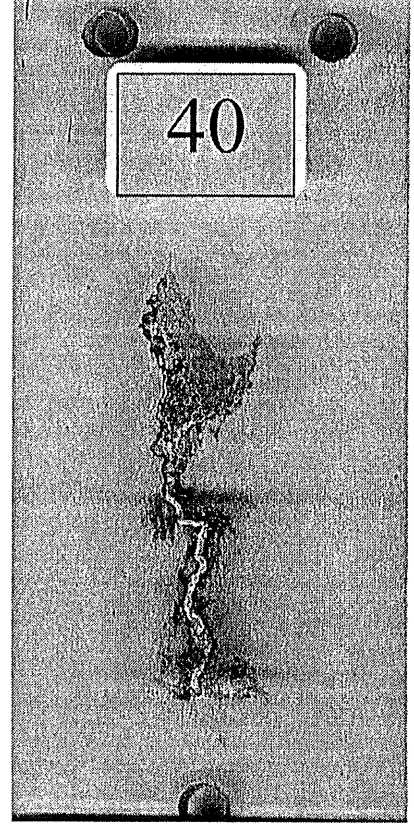
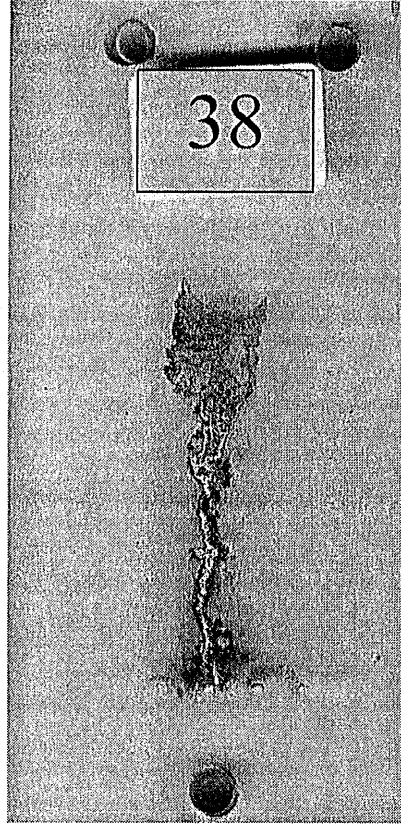
Şekil 23. Önden 10 cm UV etkisi altında yapılan deneylerde elde edilen bozulma süreleri



Şekil 24. Sağdan ve soldan 10 cm UV etkisi altında yapılan deneylerde elde edilen bozulma süreleri



Şekil 25. Önden UV etkili deneylerde elde edilen test örneklerinin yüzey biçimleri



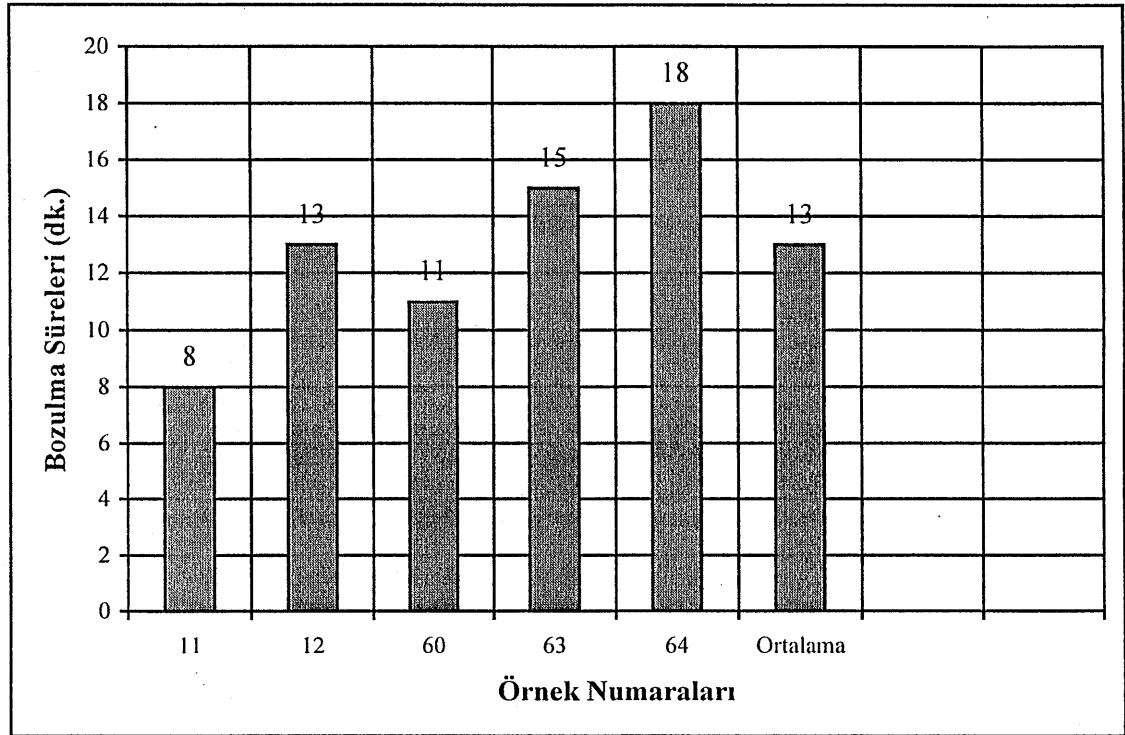
Şekil 26. Sağdan ve soldan UV etkili deneylerde elde edilen test örneklerinin yüzey biçimleri

7.3 Ağırlık etkisi altında yapılan deneyler

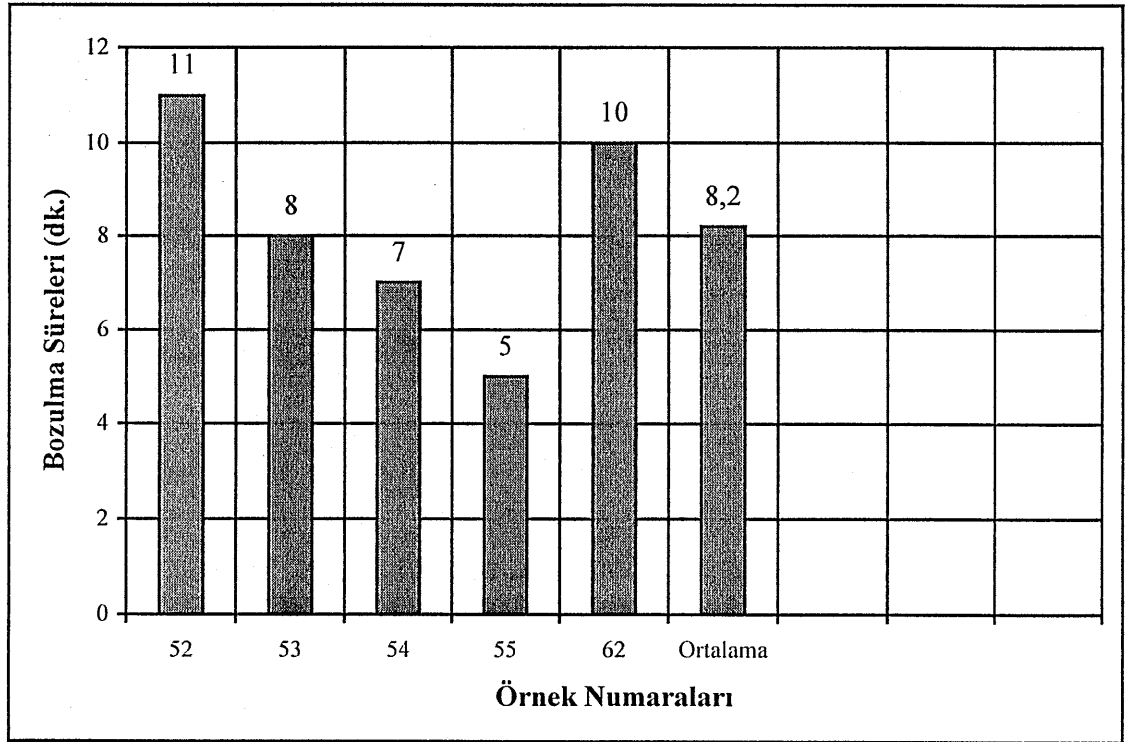
Ağırlık etkisi ile yapılan deneyler iki farklı ağırlık için gerçekleştirilmiştir.

1. 2.5 kg. yük altında
2. 5 kg. yük altında.

2.5 kg. ve 5 kg. yük altında yapılan deneylerde 5'er adet test örneği kullanılmıştır. Elde edilen ortalama bozulma süreleri sırasıyla 13 dk. ve 8.2 dk. olarak bulunmuştur. Aşınma süreleri ve ortalamaları Şekil 27 ve Şekil 28'de verilmiştir.



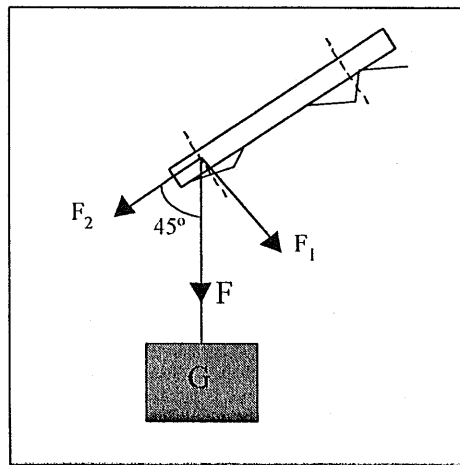
Şekil 27. 2.5 kg ağırlık etkisi altında yapılan deneylerde elde edilen bozulma süreleri



Şekil 28. 5 kg ağırlık etkisi altında yapılan deneylerde elde edilen bozulma süreleri

Ağırlık etkili deneylerde, ağırlığın test örneğine asılış biçimi Şekil 29’da verilmiştir.

Burada, uygulanan kuvvet ve bileşenleri görülmektedir.



Şekil 29. Ağırlık etkili deneyin kuvvet bileşenleri

Uygulanan kuvvetin bileşenlerinden F_1 çekme kuvvetini, F_2 ise bükme kuvvetini ifade etmektedir S_1 çekme ve S_2 bükme siddetleri şu şekilde ifade edilmektedir.

$$S_1 = \frac{F_1}{b.d} \quad (7.4)$$

$$S_2 = \frac{6.F_2.x}{b.d^2} \quad (7.5)$$

Burada;

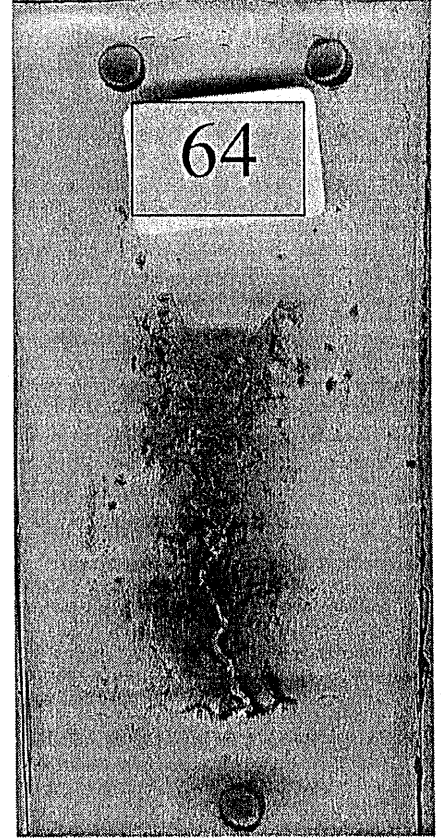
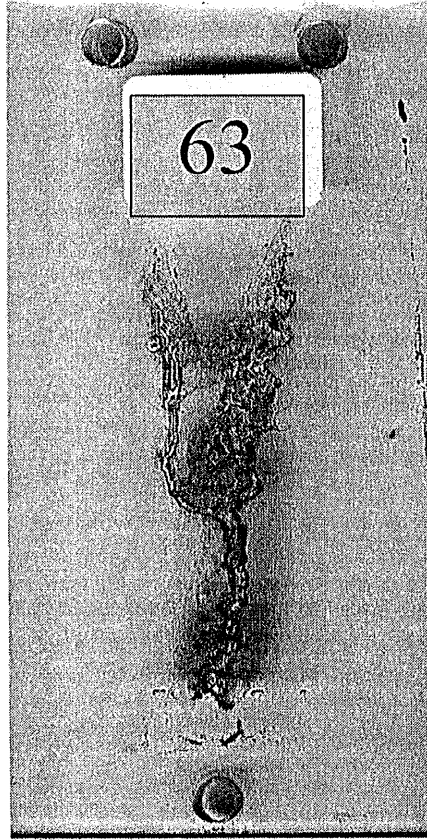
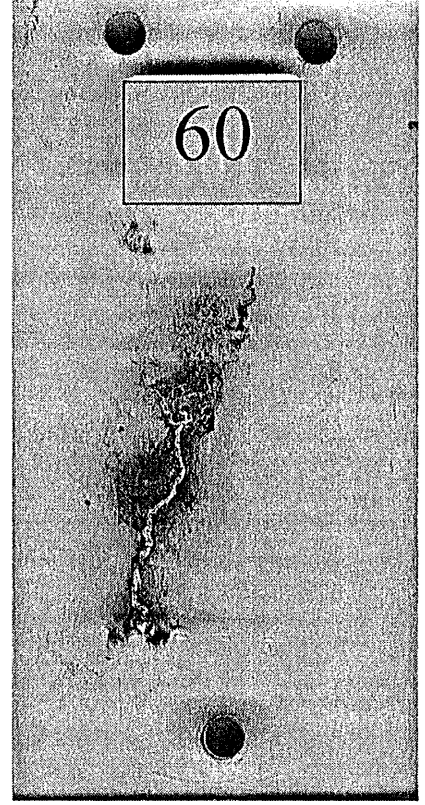
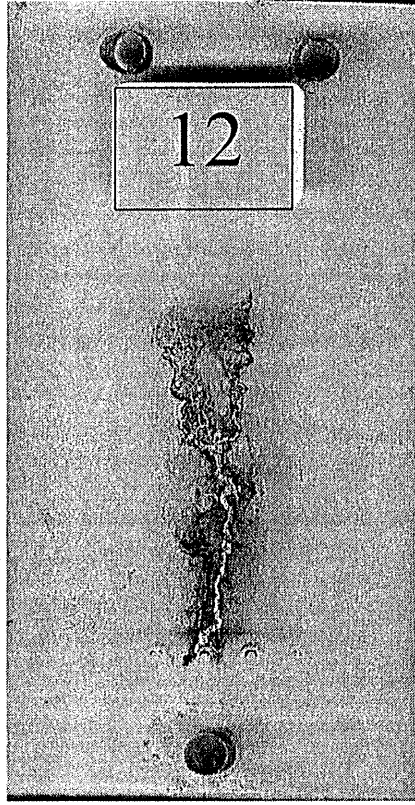
x: test örneğinin boyu (95 mm)

b: test örneğinin eni (55 mm)

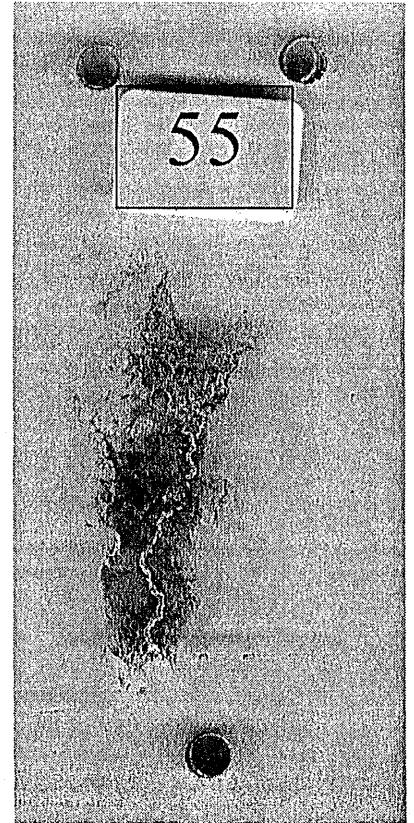
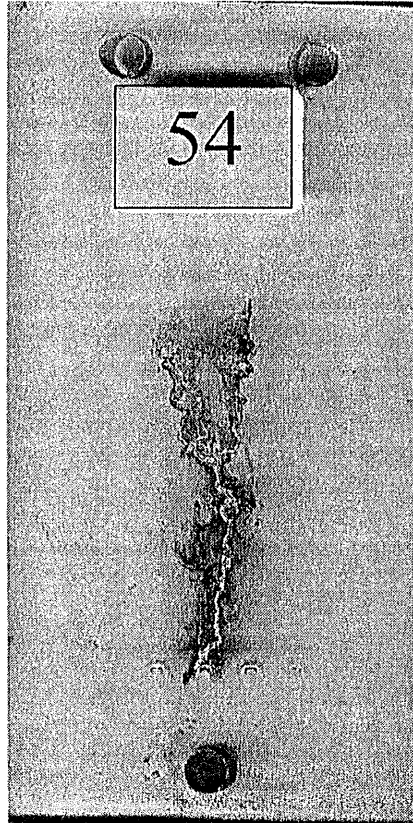
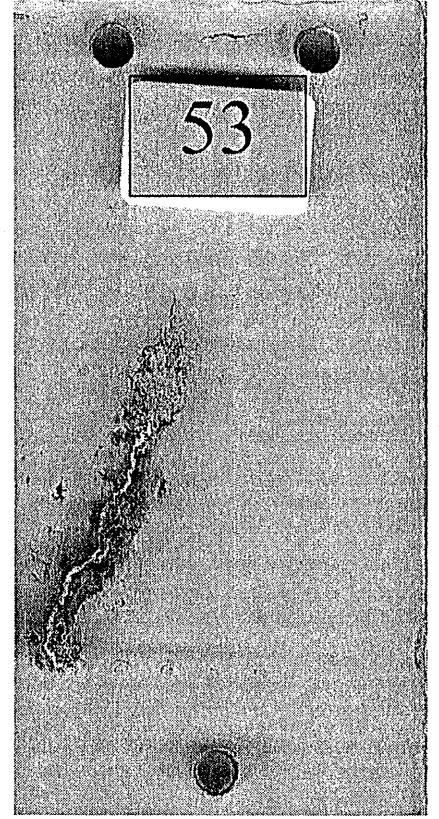
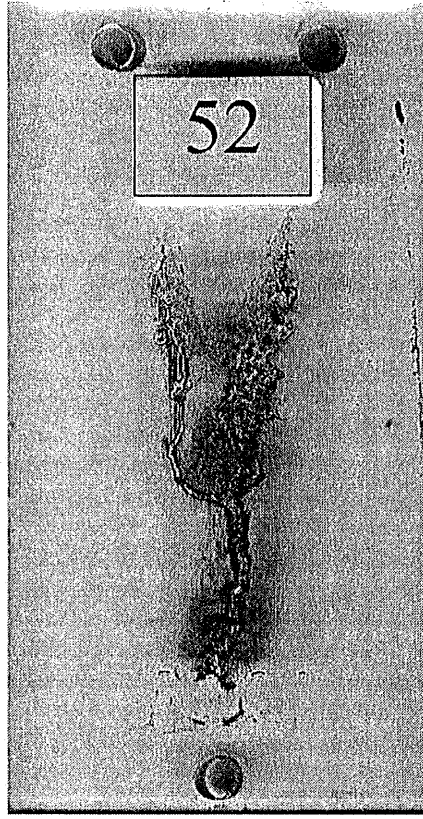
d: test örneğinin kalınlığı (9 mm)

Deneylerde kullandığımız 5 kg. yük için, (7.4) ve (7.5) bağıntılarından $S_1=0.007$ N/mm² ve $S_2=4.48$ N/mm² biçiminde bulunmuştur. Polyester malzemenin kırılma şiddeti 42 N/mm² [16] olduğu gözönünde bulundurulursa S_2 bükme şiddetinin kırılma malzemenin tahribatında önemli bir rol oynadığı görülmüştür.

Ağırlık etkili deneyler sonucunda polyester örneklerinde oluşan yüzey aşınımları Şekil 30 ve Şekil 31’de görülmektedir.



Şekil 30. 2.5 kg ağırlık etkili deneylerde elde edilen test örneklerinin yüzey biçimleri

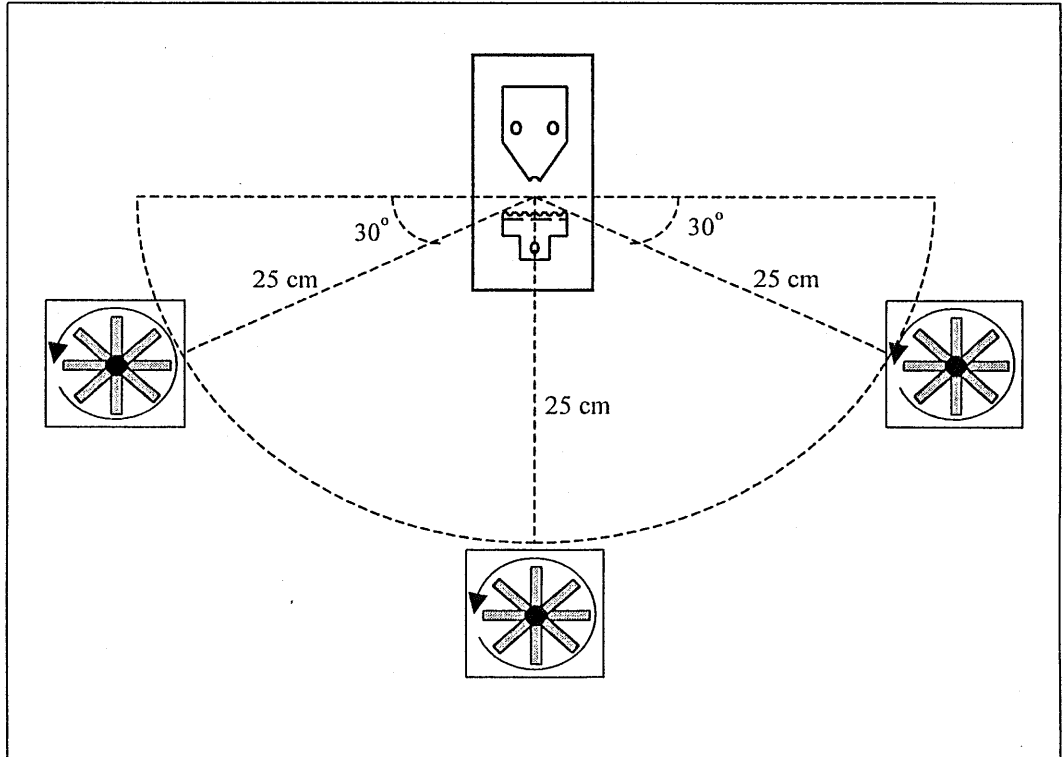


Şekil 31. 5 kg ağırlık etkili deneylerde elde edilen test örneklerinin yüzey biçimleri

7.4 Rüzgar etkisi altında yapılan deneyler

Rüzgar etkisi altında yapılan deneyler DC kaynakla çalışan bir fan kullanılarak ve iki aşamada gerçekleştirilmiştir (Şekil 32).

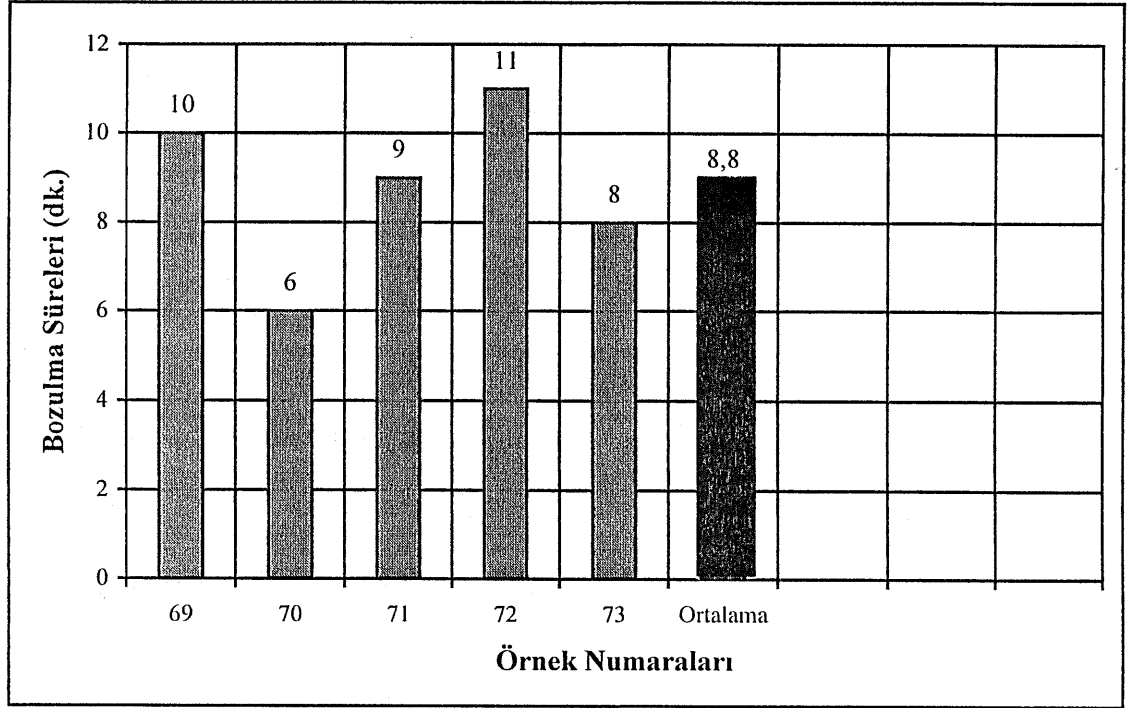
1. Rüzgar kaynağı önden 25 cm uzaklıkta iken,
2. Rüzgar kaynağı sağdan ve soldan 25 cm uzaklıkta iken yapılan deneyler.



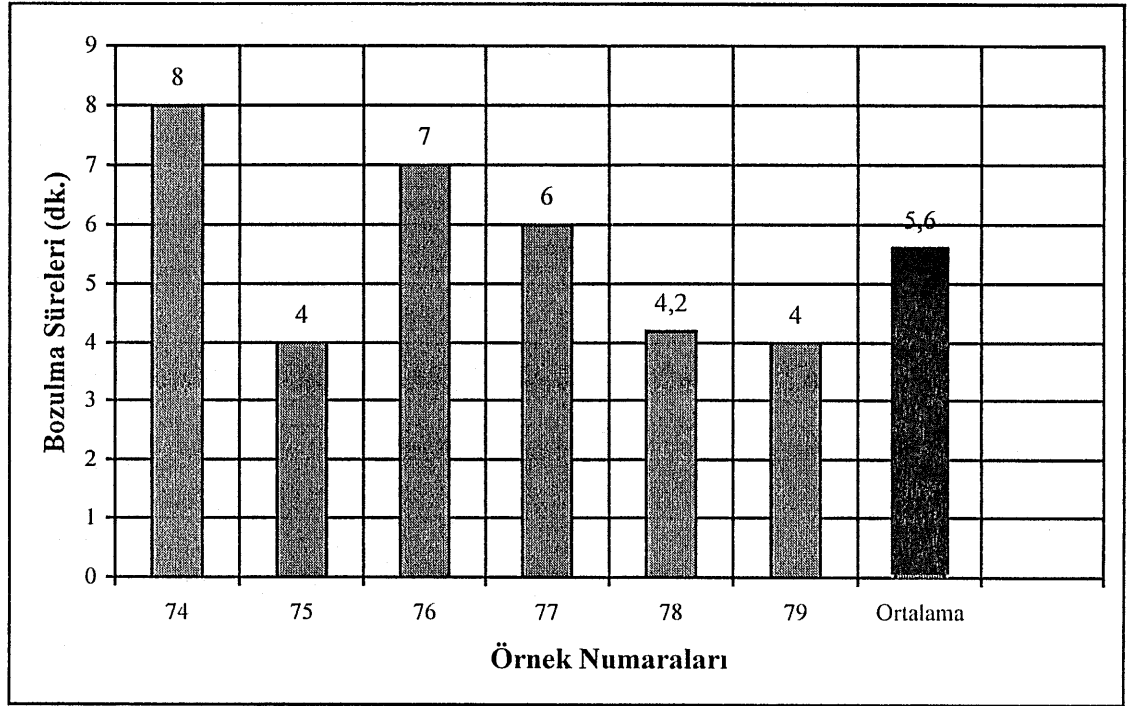
Şekil 32. Rüzgar etkisi altında yapılan deneyin düzeneği

Önden rüzgar uygulanarak yapılan deneylerin sayısı 5, yanlardan rüzgar uygulanarak yapılan deneylerin sayısı 6'dır. Polyester test örneklerinin bozulma süreleri ve

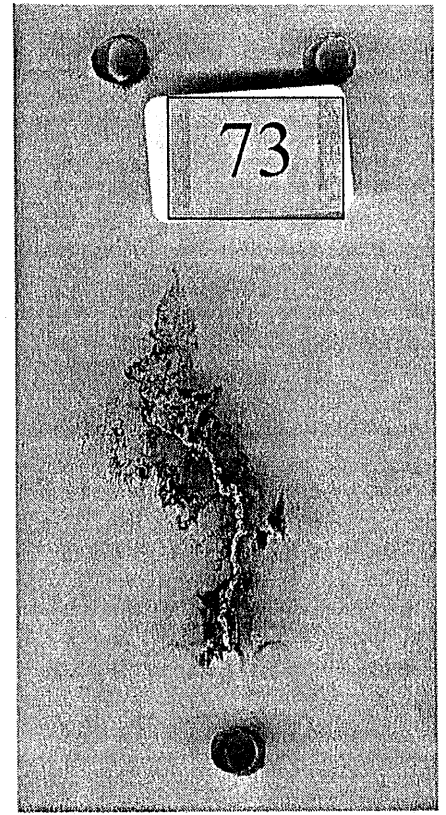
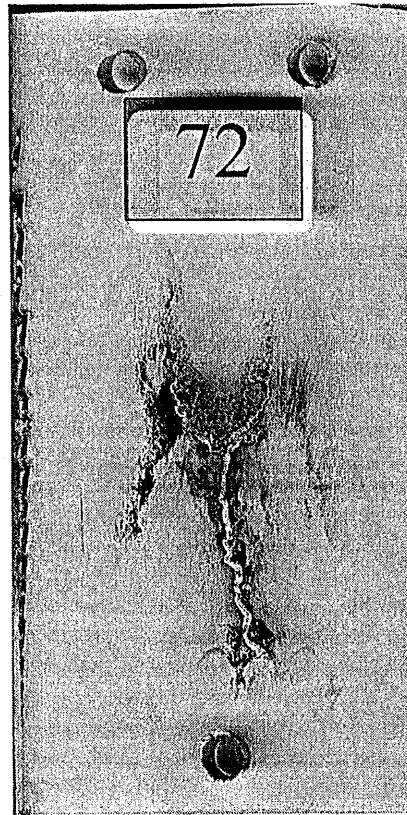
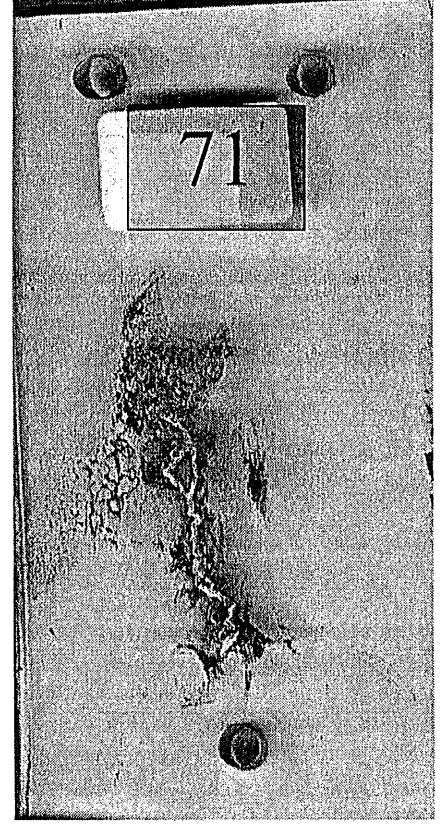
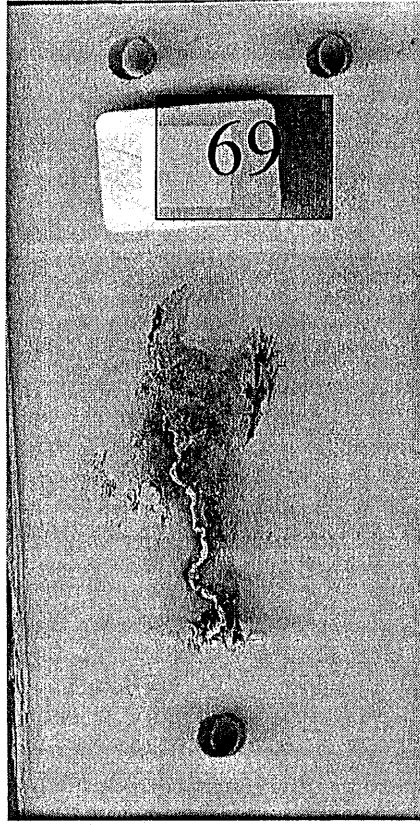
ortalamları Şekil 33 ve Şekil 34'te verilmiştir. Şekil 35 ve Şekil 36'da ise örneklerin yüzey şekilleri görülmektedir.



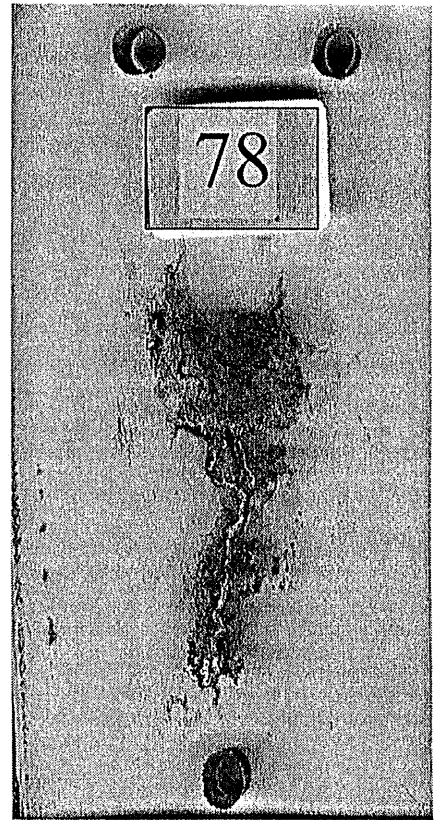
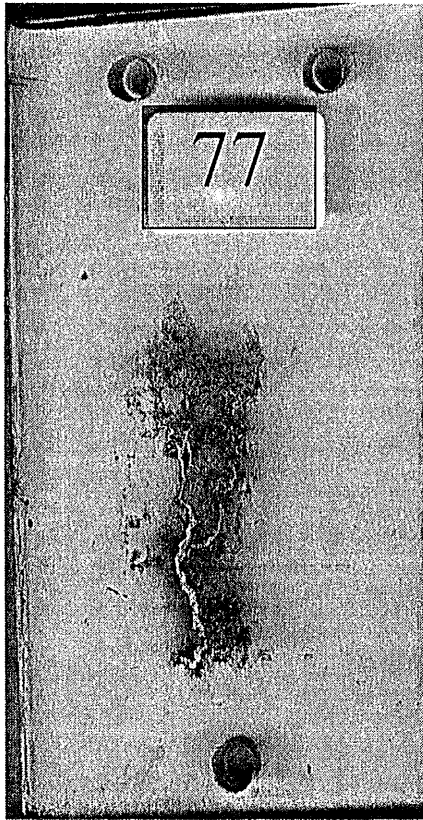
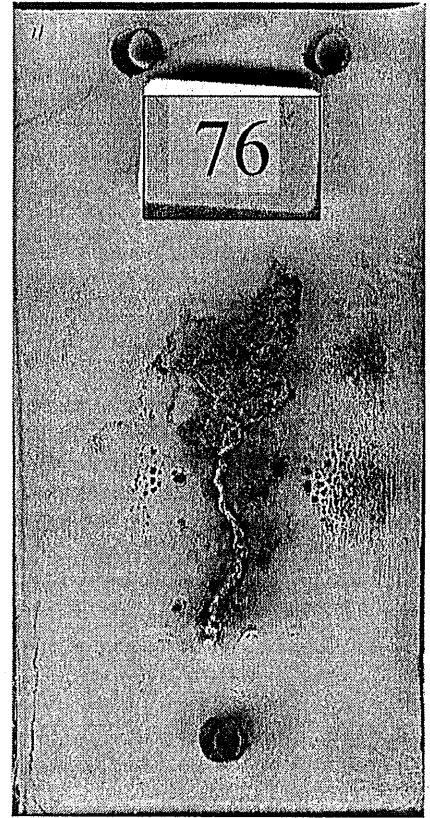
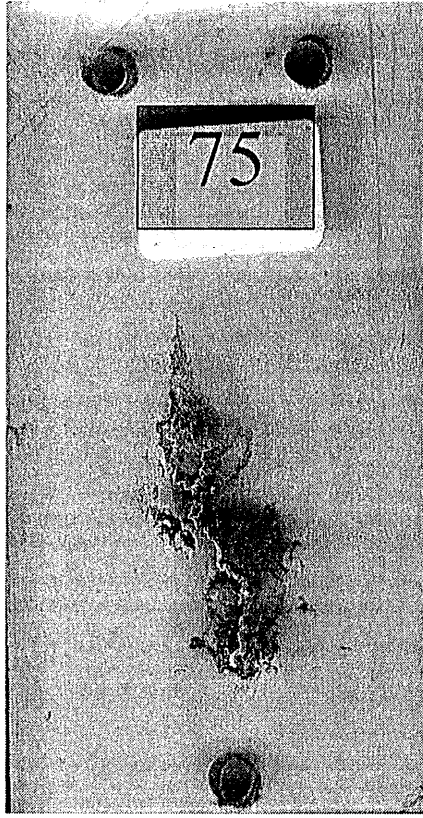
Şekil 33. Önden 25 cm rüzgar etkisi altında yapılan deneylerde elde edilen bozulma süreleri



Şekil 34. Sağdan ve soldan 25 cm rüzgar etkisi altında yapılan deneylerde elde edilen bozulma süreleri



Şekil 35. Önden rüzgar etkili deneylerde elde edilen test örneklerinin yüzey biçimleri



Şekil 36. Sağdan ve soldan rüzgar etkili deneylerde elde edilen test örneklerinin yüzey biçimleri

VIII. TARTIŞMA VE SONUÇ

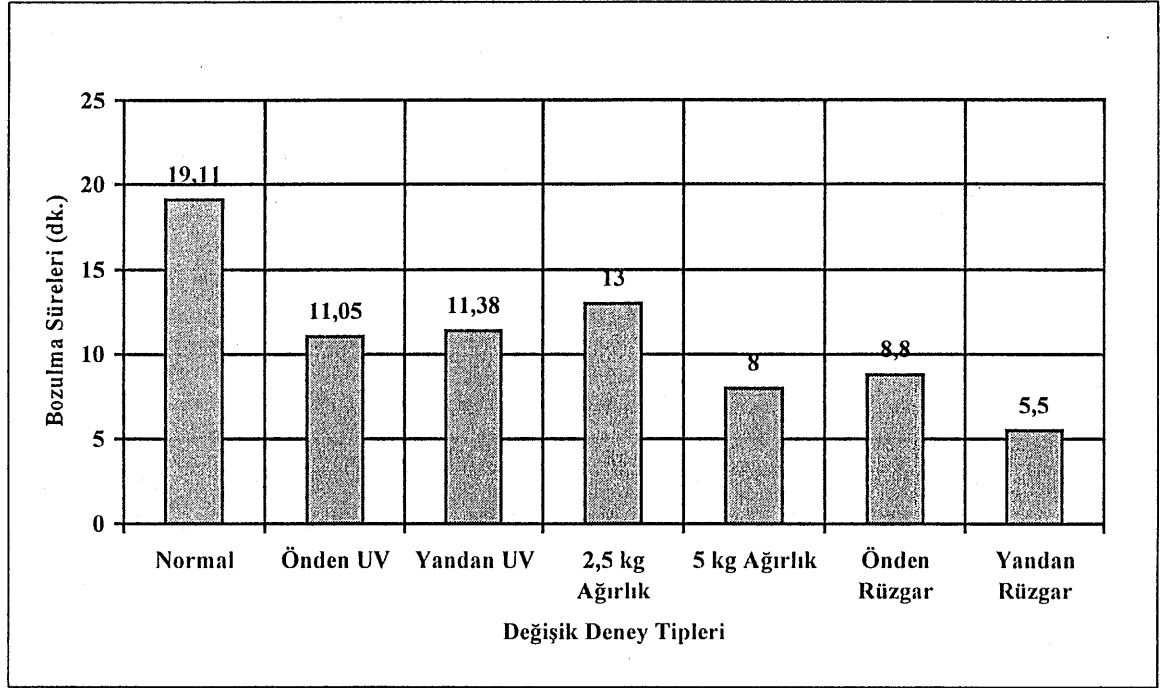
Yüksek gerilim teknolojisinde kullanılan polyester izolatörler yapı itibarıyla yüzeyi çok kolay bozulabilen malzemelerdir. Yüzeyi bozuk bir izolatör ise yüksek gerilim tekniğinde tercih edilmemektedir.

Bu çalışmada, polyester izolatörün yüzey aşınımının dış etkiler karşısındaki davranışını incelemek için 4 ayrı tipte deneyler yapılmıştır.

- Herhangi bir etki olmaksızın yapılan deneylerde polyester malzemenin bozulma süresi ortalama 19 dakika olarak bulunmuştur. Test örneğinin bozulduktan sonraki yüzey izleriderin değildir ve fiziksel bir tahribata rastlanılmamıştır.
- UV etkili deneylerde bozulma süresinin UV kaynağın konumuna (önden yada yandan olmasına) bağlı olmadığı sonucu çıkartılabilir. Çünkü; kaynağın önden olması halinde bozulma süresi ortalama 11.05 dakika, yandan olması halinde ise bozulma süresi ortalama 11.38 dakika. şeklinde bulunmuştur. Test örneğinin bozulduktan sonraki yüzey izleri derindir ve polyester numunesi, etki altında yapılan diğer deneylere oranla daha kararmış bir görünüme vardır. Polyester malzemeye uygulanan sıcaklık, malzemenin yüzeyinden akan çözeltinin buharlaşmasına ve elektrotların daha çok ısınmasına neden olmaktadır. Bunun sonucu olarak, yüzey direnç özelliğini kaybettiğinden daha kısa bir sürede bozulma gerçekleşmiş olabilir.

- Ağırlık etkili deneylerde yükün 2.5 kg olduğu durumda ortalama bozulma süresi 13 dakika, 5 kg. olduğu durumda ise ortalama bozulma süresi 8.2 dakika olarak bulunmuştur. Yüzeydeki izler derindir ve test örneğinde fiziksel olarak bir bükülme meydana gelmiştir. Ağırlık etkisi altında yapılan deneylerde bozulma süresinin, diğer deneylerde elde edilen ortalama bozulma sürelerine göre daha kısa olmasının nedeni; yüksek bükme kuvvetinin malzemeyi eğmesi sonucunda yüzeyde oluşabilecek mikro düzeydeki çatlaklar olabilir. Bu çatlaklar, yüzeyin su tutma özelliğini arttırmış ve bozulmayı hızlandırmış olabilir.
- Rüzgar etkili deneylerde bozulma süresi rüzgar kaynağının yönüne göre farklılıklar göstermektedir. Kaynağın önden olması halinde bozulma süresi 8.8 dakika, kaynağın yanlarda olması halinde ise ortalama bozulma süresi 5.5 dakika olmaktadır. Malzemenin yüzeyindeki izler derin olmasına rağmen, test örneğinde fiziksel olarak bir şekil bozukluğuna rastlanılmamıştır. Rüzgar, polyester malzemenin yüzeyinden akan çözeltinin akış yönünü bozmakta olduğundan ve özellikle rüzgar yanlardan geldiğinde üst elektrottan akan çözelti daha yavaş toprak elektroduna ulaştığından; toprak elektrodunun bulunduğu yüzeyde meydana gelen yüksek deşarj akımları malzemeyi bu yüzden kısa bir sürede bozmuş olabileceği düşünülmektedir.

Sıcaklık, ağırlık ve rüzgar etkisi olduğunda polyester malzemenin yüzey aşınımının daha çabuk gerçekleştiği gözlemlenmiştir. Şekil 37’de tüm etkilerdeki bozulma sürelerinin ortalama değerleri görülmektedir.



Şekil 37. Tüm deneylerde elde edilen ortalama bozulma sürelerinin karşılaştırılması

Weibull istatistiksel hesabı, polyester malzemenin zamana göre bozulma olasılığını vermekle birlikte, ayrıca elde edilen verilerin tutarlılığını da ortaya koymaktadır. Herhangi bir etki olmaksızın yapılan deneylerde elde edilen verilerle oluşturulan Weibull tablosu ile sonuçların tutarlı olduğu ortaya çıkartılmıştır (Şekil 21).

IX. KAYNAKLAR

- [1]. Dorf R.C. ;1993; "*The Electrical Engineering Handbook*." CRC Press 1132-1151
- [2]. Alghamdi,ASG; Aucland, DW; Hon, BR; Varlow,BR; 1992 "*The Influence of stray capacitance on wet tracking of polyester resin*"; DMMA 6
- [3]. Billings,MJ; Smith,A; Wilkins,R; 1967 "*Tracking in polymeric insulation*" ; EI2(3); 131-137.
- [4]. Liptrot, FJ. 1996; "*An examination of the service performanse of ceramic insulators*", IEE Colloquium on a rewiev of outdoor insulation materials, 4.1-4.7.
- [5]. Looms,JST. 1988; "*Insulators for High Voltages*", Peter Peregrinus, London 276.
- [6]. Kuffel,E; Abdullah M; (Çevirenler:Özkaya,M; Tüfekçi,T; Ergan,N) 1986 "*Yüksek Gerilim Tekniği*" İTÜ Yayınları 65-80.
- [7]. Benzaoua, S.F; Williams,D.L.; Griffiths,H; Rowlands,A.R; Waters,R.T. 1993; "*Wetting action in a fog test facility*", UPEC 93 2 ,557-560.
- [8]. Watson,JF; Mason,JH; Lych,AC; 1979; "*Assessing materials for use as outdoor insulation*" ; ISH 3; 1-4.

- [9]. Uğur M; 1997; *"Modelling and analysis of surface tracking phenomena of solid insulating materials"* University of Manchester, Doktora tezi; 270.
- [10]. ASTM (2303); ,1978; "Standard test methods for liquid contaminant, inclined plane tracking and erosion of insulating materials", 552-556.
- [11]. Billings,MJ; Wilkins,R; Warren,L; 1968 *"A comparison of the IEC Dust-Fog and Inclined plane test ;* EI 3; 33-39.
- [12]. ASTM (D3638); 1979; "Standard test methods for comparative tracking index of electrical insulating materials", 113-125.
- [13]. Centurioni,L; Coletti,G; Operto,A; 1977; *"A contribution to the study of the tracking phenomenon in solid dielectric materials under moist conditions"* EI 12(1), 147-152.
- [14]. Cacciari,M; Montanari, GC; (1992); *"Electrical life threshold models for solid insulating materials subjected to electrical and multiple stresses: probabilistic approach to generalized life models"* EI 27(5), 987-999.
- [15]. Stone,GC; Heeswijk,RGV; 1977; *"Parameter estimation for the Weibull distribution"*, EI12(4), 253-261.
- [16]. Scott Bader Firması; 1991; *"Technical Information"* Jotun Plymer, 1-5.

X. ÖZGEÇMİŞ

Ahmet MEREV, 1974 yılında İstanbul'da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini İstanbul'da tamamladı. 1991 yılında İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümüne girdi. 1995 yılında lisans derecesi aldı. Aynı yıl İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı Yüksek Lisans programına girmeye hak kazandı ve 1 yıl İngilizce Dili Hazırlık programına katıldı. 1996 yılından beri İstanbul Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Kontrol ve Kumanda Sistemleri Ana Bilim Dalı'nda araştırma görevlisi olarak çalışmaktadır. Evli.